



Akademia  
Techniczno-Humanistyczna  
w Bielsku-Białej



WYDZIAŁ  
BUDOWY MASZYN  
I INFORMATYKI

# Projektowanie, badania i eksploatacja

Monografia



Akademia  
Techniczno-Humanistyczna  
w Bielsku-Białej

# Projektowanie, badania i eksploatacja



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

Dofinansowano z programu „Doskonała nauka”  
Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Polska Akademia Nauk  
Komitet Budowy Maszyn



Polska Akademia Nauk  
Komitet Inżynierii Produkcji

Bielsko – Biała 2020

Redaktor Naczelny Wydawnictwa:

dr hab. inż. Krzysztof BRZOZOWSKI, prof. ATH

Redaktor Działu: dr hab. inż. Dorota PAWLUS, prof. ATH

Redakcja: dr inż. Jacek RYSIŃSKI

Sekretarz Redakcji: mgr Grzegorz ZAMOROWSKI

Adres Redakcji – Editorial Office – Adresse de redaction –  
Schriftleitungadresse:

WYDAWNICTWO NAUKOWE  
AKADEMII TECHNICZNO - HUMANISTYCZNEJ  
W BIELSKU-BIAŁEJ

PL 43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2

ISBN 978-83-66249-54-7

Artykuły wydrukowano na podstawie materiałów dostarczonych przez autorów.  
Oryginały referatów (tekst i rysunki) reprodukowane są z uwzględnieniem uwag  
recenzentów na odpowiedzialność Autorów.

**Bielsko – Biała 2020**

**Projektowanie, badania i eksploatacja**  
**Designing, researches and exploitation**

<b>Marcin ANIOŁA .....</b>	<b>11</b>
<b>Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA</b>	
Numeryczna analiza wytrzymałościowa mobilnego żurawia warsztatowego	
Numerical strength analysis of a mobile workshop crane	
<b>Henrietta BAN .....</b>	<b>21</b>
<b>Opiekun naukowy: Vitaly GERASIMOV, Alexander MOLNAR</b>	
System monitoringu IoT z zastosowaniem modułu WEMOS D1	
Development of an IoT monitoring system based on the WEMOS D1 module	
<b>Barbora BENČÖOVÁ, Marieta ŠOLTÉSOVÁ.....</b>	<b>27</b>
<b>Supervisor: Mário MOLOKÁČ</b>	
Wpływ transportu na środowisko	
The impact of transport on the environment	
<b>Marek BRYKCZYŃSKI.....</b>	<b>35</b>
Analysis of the electric power steering system's worm gear friction impact on the steering wheel torque	
Analiza wpływu tarcia przekładni ślimakowej elektrycznego układu wspomagania kierownicy na wartość przyłożonego do niej momentu obrotowego	
<b>Martin BOHUŠÍK, Vladimír BULEJ, Miroslav CÍŠAR, Michal BARTOŠ .....</b>	<b>45</b>
<b>Opiekun naukowy: Ivan KURIC</b>	
System monitoringu dla pszczół	
Creation of a monitoring system for bees	
<b>Aleksy CIURKO .....</b>	<b>51</b>
<b>Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA</b>	
Analiza wytrzymałościowa elektrycznego roweru górskiego z silnikiem mocowanym do ramy	
Strength analysis of an electric mountain bike with a motor attached to the frame	
<b>Szymon DAMEK, Andrzej NOWAK.....</b>	<b>61</b>
<b>Opiekun naukowy: Andrzej NOWAK</b>	
Identyfikacja czynników wpływających na stabilność lotu BSL	
Identification of factors affecting BSL flight stability	

Henrietta BAN<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Vitaly GERASIMOV<sup>2</sup>, Alexander MOLNAR<sup>3</sup>

## **SYSTEM MONITORINGU IoT Z ZASTOSOWANIEM MODUŁU WEMOS D1**

**Streszczenie:** W niniejszej pracy przedstawiono ideę zastosowania modułu WEMOS D1 jako urządzenia IoT do prowadzenia monitoring środowiska. Zaproponowany system składa się z kilku części. Jedną z nich zbiera informację z czujników stanu środowiska oraz zapisuje dane w module SD. Takie rozwiązanie umożliwia przesyłanie wiadomości o statusie czujników oraz innych parametrach systemu za pomocą protokołu SMTP, z możliwością przechowywania danych lokalnie lub innych rodzajach pamięci.

**Słowa kluczowe:** IoT, czujniki, protokół SMTP

## **DEVELOPMENT OF AN IoT MONITORING SYSTEM BASED ON THE WEMOS D1 MODULE**

**Summary:** The results of using the WEMOS D1 module as an IoT device for monitoring the environment have been presented in this article. The proposed system consists of several parts, one of which collects information from environmental sensors and records data on SD module. The development provides for sending a message about the status of sensors and other aspects of the system via the SMTP protocol on local and remote storage.

**Keywords:** IoT system, sensors, SMTP

---

<sup>1</sup>PhD student, Department of Semiconductor Physics, Uzhhorod National University, Ukraine,

<sup>2</sup>Mukachevo State University, Faculty of Economics, Management and Engineering, vitgerv@gmail.com

<sup>3</sup>Department of Semiconductor Physics, Uzhhorod National University, Ukraine

## 1. Introduction

The topic of IoT technologies is receiving a lot of attention today in fact they are the technologies of the future information society. Modular development tools for various devices such as Arduino, TI, Raspberry Pi and the like are very suitable for creating various types of devices from the field of IoT. The advantages of such modular systems are affordability in terms of price, multifunctionality, the ability to use ready-made libraries for working with external sensors (others modules), etc. In this respect, ESP8266 modules are out of competition of the above parameters [1]. The authors have set the task of creating a monitoring system for environmental control using high-quality and reliable sensors (temperature, humidity, CO<sub>2</sub>) as well as available Wi-Fi modules for transferring data to external storage (cloud server) with simultaneous synchronous storage of information on the local SD module. Also, the condition of the project did not include the use of paid cloud services, which significantly attracted the interest of part of future users to this monitoring system. Despite the seeming simplicity of the project's implementation, the authors have faced a number of problems that were solved in one way or another (Fig 1).

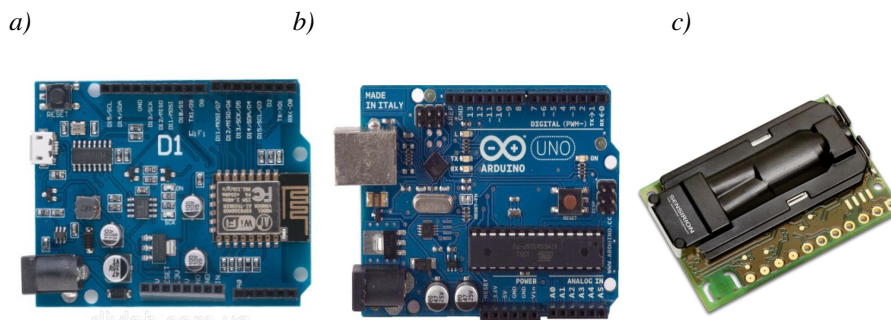


Figure 1. a) Module Wemos D1 for Wi-Fi connection [6]; b) Arduino UNO [7]; c) SCD30 Sensor Module for control CO<sub>2</sub>, humidity and temperature [8]

## 2. Implementation

First of all, WEMOS D1 was chosen as a Wi-Fi module it is the main one in this design. This module is a relatively new, at the same time cheap and effective development tool based on Wi-Fi communication. The advantage is that it uses the widely popular ESP8266 circuit [2, 3], as well as a large number of ports for in/out data. This one is the main advantage in relation to cheaper modules, for example ESP8266-01,03 etc. In addition, we are pleased with the good quality of the module, power supply via standard 5(12) volts, ease of programming via USB. Since the data transmission was planned using wireless technologies, where the probability of receiving-transmitting failure is especially high, a regular module on ARDUINO UNO [4] with an integrated SCD30 air Sensor was provided to collect information from the sensors. With the ARDUINO module, information based on sensor data is transmitted to WEMOS and from this point on to a remote cloud storage. Such an organization allows to significantly increase the stability of work, since the

implementation of the procedure for collecting data from sensors, recording on SD card in one module and transferring to Wi-Fi can lead to sagging of the device on the whole due to complex software execution.

### 3. Results and discussion

For date, these two independent parts of the project work autonomously and stably, without any comments. We would like to note that the remote storage actually failed to be implemented on one of the popular services, so it was not possible to programmatically implement authentication through the Arduino environment. We think this situation is connected with the security of access protocols for such services, so they are not published open sources. However, it was possible to send and store information through the SMTP protocol, which is actually access to e-mail. On the Internet resource, an example of sending a message through a GMAIL mailbox for ESP8266 module was taken [5]. Changes have been made in the program code corresponding to the parameters of the local network: access passwords and, of course, the mailbox address on Google. In addition to this service, it is possible to connect to a number of postal services, for example *Yandex*. The only moments in the implementation of this Google connection was that the system informed user for a dubious connection and warned about the possibility of unauthorized access to mail. In the settings of Google mail, we managed to disable this alarm and continue to use the mail. Since, under the terms of the project, data are sent relatively rarely - once a day, this does not lead to an overflow of notifications in the mail box, and moreover, it makes it possible for the module to send an alarm message, for example, when there is no power on the modules or the critical state of the sensor indicator or its being out of service.

The program code for sending messages to the SMTP protocol is presented below.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "Mail.h"
const char* const staSSID = "netis_3";
const char* const staPass = "222222222";
const char* const smtpHost[] = {"smtp.gmail.com" };
const uint16_t smtpPort = 465;
const char* const smtpUser[] = { "vitgerv@gmail.com" };
const char* const smtpPass[] = { "Vov1212345" };
const char* const mailTo = "vitge@mail.ru";
const char* const mailSubject = "test to mail";
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial.println();
    Serial.print(F("Connecting to \"));
    Serial.print(staSSID);
    Serial.print(' ');
    WiFi.begin(staSSID, staPass);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```

        delay(500);
        Serial.print('.');
    }
    Serial.print(' ');
    Serial.println(WiFi.localIP());
    delay(10000);
    for (int8_t i = 0; i < 3; ++i) {
        Serial.println();
        if (sendMail(smtpHost[i], smtpPort, smtpUser[i],
smtpPass[i], mailTo, mailSubject, F("p1\r\np2\r\np3"))) {
            Serial.print(F("Mail sented through "));
            Serial.println(smtpHost[i]);
        } else {
            Serial.print(F("Error sending mail through "));
            Serial.print(smtpHost[i]);
            Serial.println('!');
        }
    }
    WiFi.disconnect();
}
void loop() {
}

```

Fragment of code for collecting and recording data from the sensor:

```

// lib for RTC
#include <Wire.h>
#include <Time.h>
#include <DS1307RTC.h>
#include "SparkFun_SCD30_Arduino_Library.h"
SCD30 airSensor;
// lib for SD SD
#include <SD.h>
const int chipSelect = 10;
File myFile;
String sfilename;
char filename[20];
tmElements_t tm;
//string for record
String record="";
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.print("Initializing SD card...");
    // see if the card is present and can be initialized:
    if (!SD.begin(chipSelect))
    {

```



```
        Serial.println("Card failed, or not present");
        // don't do anything more:
        while (1);
    }
    Serial.println("card initialized.");
    airSensor.begin(); //This will cause readings to occur every
two seconds
    airSensor.setMeasurementInterval(4); //Change number of
seconds between measurements: 2 to 1800 (30 minutes)
    //start level of pressure
    airSensor.setAltitudeCompensation(164); //Set altitude of
the sensor in m
    // CO is 24.65inHg or 834.74mBar
    airSensor.setAmbientPressure(835); //Current ambient
pressure in mBar: 700 to 1200
}
void loop()
.....
```

#### 4. Conclusions

This development of an IoT monitoring system based on the WEMOS D1 module allows you to receive data from sensors and send it to a remote and local storage. The one was used as Gmail mail service.

Receiving data from sensors is implemented on a relatively slow module Arduino Uno.

This approach reduces the likelihood sagging of a system by separating the sending and collecting functions in one device.

#### REFERENCES

1. MAGESH JAYAKUMAR: The internet of things with esp8266 Hands on approach: Get started with Arduino IDE and ESP8266, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017.
2. SCHWARTZ M.: Internet of Things with ESP8266, Packt Publishing, 2016.
3. CATALIN BATRINU: ESP8266 Home Automation Projects: Leverage the power of this tiny WiFi chip to build exciting smart home projects, Packt Publishing, 2017.
4. NICHOLAS S.: Arduino Programming: A Comprehensive Beginner's Guide to Learn the Realms of Arduino from A-Z, Independently published, 2020.
5. Web page: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-send-email-smtp-server-arduino-ide/>, 22.10.2020.

6. Web page:  
*<https://www.arduiner.com/prodotto/wemos-d1-wifi-esp8266-80-160mhz-placa-de-desarrollo-flash-de-4mb-compatible-arduino-uno/>, 22.10.2020.*
7. Web page: *<https://www.arduino.cc/>, 22.10.2020.*
8. Web page:  
*[https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.5\\_CO2/Sensirion\\_CO2\\_Sensors\\_SCD30\\_Datasheet.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.5_CO2/Sensirion_CO2_Sensors_SCD30_Datasheet.pdf), 22.10.2020.*

Marcin ANIOŁA<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA<sup>2</sup>

## NUMERYCZNA ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA MOBILNEGO ŻURAWIA WARSZTATOWEGO

**Streszczenie:** Przedstawiono modele geometryczny i obliczeniowy projektowanego mobilnego żurawia warsztatowego. Analizy numeryczne przeprowadzono w programie Siemens NX NASTRAN dla dwóch wariantów modelu obliczeniowego zróżnicowanych strukturalnie z uwagi na rodzaj wykonywanych ruchów roboczych i przekazywane na strukturę żurawia obciążenia. Analizy przeprowadzono w celu sprawdzenia wytrzymałości oraz sztywności projektowanej konstrukcji.

**Słowa kluczowe:** analiza wytrzymałościowa, metoda elementów skończonych, mobilny żuraw warsztatowy

## NUMERICAL STRENGTH ANALYSIS OF A MOBILE WORKSHOP CRANE

**Summary:** The geometrical and computational models of a designed mobile workshop crane are presented. Numerical analyses were performed using the Siemens NX NASTRAN software. Two variants of the computational model structurally diversified due to the type of working movements performed and loads transferred to the structure of the crane were considered. The analyses were carried out to verify the strength and stiffness of the designed structure.

**Keywords:** strength analysis, finite element method, mobile workshop crane

### 1. Wprowadzenie

Żurawie to dźwignice wspornikowe, które służą do podnoszenia i przemieszczania ciężarów na ograniczonej przestrzeni. Wśród różnego typu żurawi ważną grupę urządzeń stanowią tzw. żurawie warsztatowe. Żurawie warsztatowe używane są do przemieszczania ładunków o dużych gabarytach oraz znacznej masie, najczęściej w warsztatach samochodowych, ale także w różnego typu zakładach produkcyjnych.

---

<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Komputerowe Wspomaganie Konstruowania i Wytwarzania, marcani1@wp.pl

<sup>2</sup> dr. inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, atrabka@ath.bielsko.pl

Używa się ich wszędzie tam, gdzie ze względu na ograniczoną przestrzeń nie ma możliwości użycia żurawi innego typu.

Żurawie warsztatowe, tak jak ich więksi „bracia”, muszą stanowić solidne konstrukcje zapewniające bezpieczeństwo przede wszystkim pracownikom, ale również ładunkom. Z tego względu każda nowo projektowana konstrukcja musi spełniać rygorystyczne wymagania w tym zakresie. Oznacza to konieczność stosowania wysokiej jakości wytrzymałych materiałów oraz posiadających certyfikaty bezpieczeństwa podzespołów, takich jak np. siłowniki hydrauliczne, koła jezdne, haki itp. Cała konstrukcja musi charakteryzować się wysoką wytrzymałością oraz odpowiednią sztywnością. Te cechy konstrukcji sprawdza się na drodze analiz numerycznych, a ostatecznie poddaje badaniom doświadczalnym, po wykonaniu prototypu.

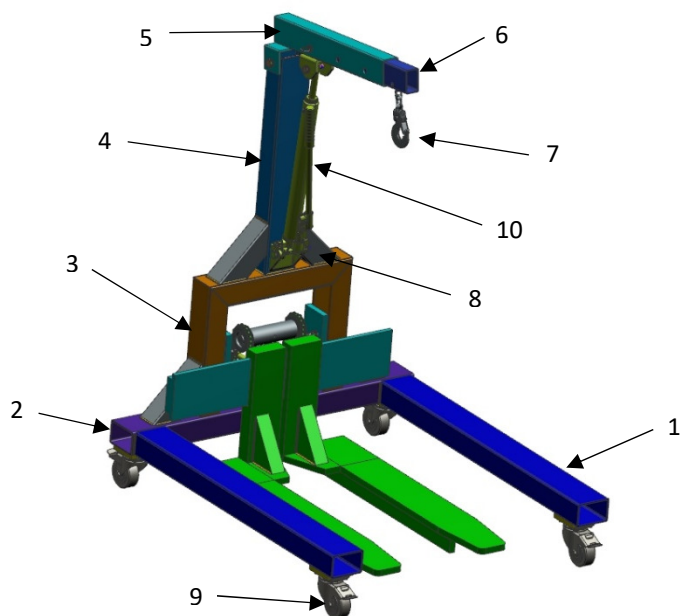
W niniejszej pracy przedstawiono modele geometryczny i obliczeniowy projektowanego mobilnego żurawia warsztatowego, a następnie sprawdzono, czy pod względem wytrzymałościowym konstrukcję można uznać za prawidłowo zaprojektowaną.

## 2. Model geometryczny mobilnego żurawia warsztatowego

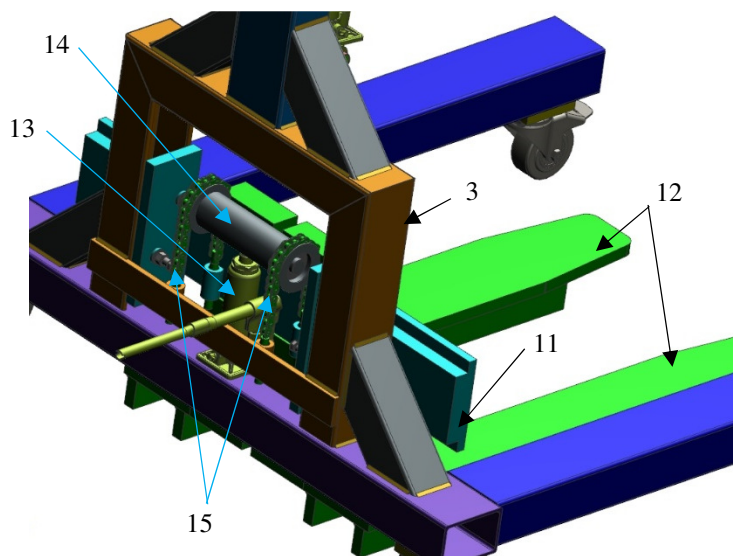
Model geometryczny projektowanego żurawia warsztatowego opracowano w programie Siemens NX Nastran [1, 2] zgodnie z koncepcją konstrukcyjną wybraną na podstawie przeglądu istniejących żurawi tego typu [3-6]. Aby uzyskać możliwie uniwersalną konstrukcję, zdecydowano się na połączenie klasycznej struktury mobilnego żurawia warsztatowego z dodatkowymi funkcjonalnościami, takimi jak możliwość załadunku i rozładunku europalet oraz możliwość podnoszenia europalet wraz z ładunkiem. Biorąc powyższe założenia projektowe pod uwagę opracowano konstrukcję, której model geometryczny przedstawiono na rysunkach 1-3.

W modelu (rys. 1) można wyodrębnić podstawę, którą tworzą dwa równoległe profile wzdłużne (1) zespawane z profilem poprzecznym (2). Do podstawy przyspawana jest rama (3). Z kolei z ramą (3) zespawany jest profil (4), który stanowi podparcie dla przegubowo połączonego z nim członu podstawowego wysięgnika (5). W członie podstawowym mocowany jest człon wysuwny (6) z hakiem (7). Dodatkowo w celu usztywnienia konstrukcja żurawia wzmocniona jest czterema profilami (8). Całość spoczywa na kółkach jezdnych (9) [7]. Do zmiany położenia członu podstawowego, a zarazem podnoszenia ciężarów na haku służy siłownik hydrauliczny (10) [8].

Dolna część konstrukcji (rys. 2) zawiera umieszczony na ramie (3) stelaż (11). Na stelażu zawieszono są widły (12), które można rozsuwać bądź zsuwać. Do podnoszenia stelaża wraz z widłami służy siłownik (13) [8] przykręcony do podstawy. Na siłowniku zamocowano tuleję z kołami łańcuchowymi (14), przez które przewijają się łańcuchy (15) [9] połączone jedną stroną ze stelażem (11), a drugą stroną z ramą (3).

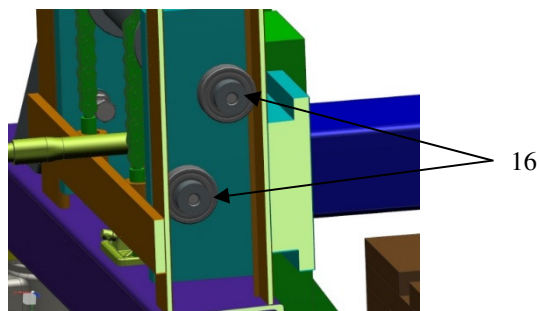


Rysunek 1. Model geometryczny mobilnego żurawia warsztatowego – widok ogólny



Rysunek 2. Model geometryczny mobilnego żurawia warsztatowego – widok mechanizmu podnoszenia zespołu widel

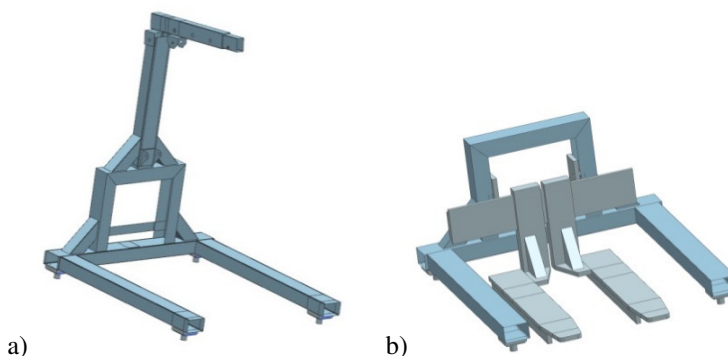
Na rys. 3 pokazano sposób prowadzenia zespołu widel w ramie. Łożyska (16) [10] podczas podnoszenia lub opuszczania zespołu widel opierają się o ramę umożliwiając jego przemieszczanie się.



Rysunek 3. Model geometryczny – widok prowadzenia zespołu widel

### 3. Opracowanie modelu obliczeniowego

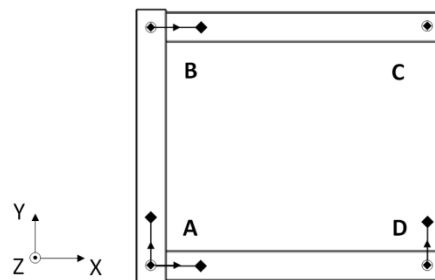
Model obliczeniowy opracowano w dwóch wariantach. W wariantcie pierwszym uwzględniono te elementy struktury żurawia, które przenoszą obciążenia przy podnoszeniu ładunków z użyciem haka (rys. 4a). W wariantcie drugim uwzględniono natomiast te elementy, które przenoszą obciążenia przy podnoszeniu ładunków z użyciem widel (rys. 4b).



Rysunek 4. Warianty modelu obliczeniowego: a) wariant pierwszy, b) wariant drugi

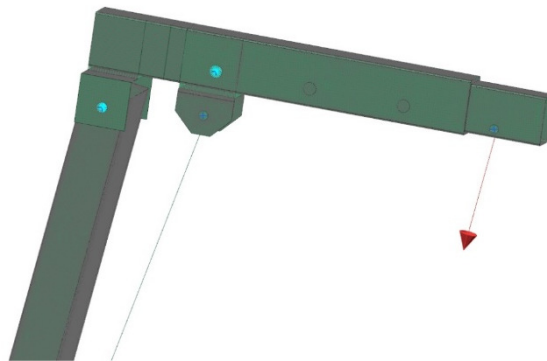
W wariantcie pierwszym dyskretyzacji całości struktury dokonano przy użyciu elementów skończonych typu powłokowego. Z kolei w wariantcie drugim oprócz elementów powłokowych, użytych do opisu profili podstawy oraz ramy, zastosowano także elementy bryłowe, którymi zamodelowano wszystkie elementy składowe tzw. zespołu widel [11]. W obu wariantach modelu obliczeniowego przyjęto uproszczenia w postaci sklejenia elementów w miejscach występowania spoin, zastąpienia kół jezdnych odpowiednio dobranymi wiązaniami, zastąpienia siłowników hydraulicznych elementami idealnie sztywnymi [12].

Podparcie modelu obliczeniowego zrealizowano wprowadzając więzy w miejsce usuniętych kół jezdnych (rys. 5). Odebrano możliwość przemieszczeń w kierunkach osi X, Y, Z w punkcie A, w kierunkach X, Z w punkcie B, w kierunku Z w punkcie C oraz w kierunkach Y, Z w punkcie D. Pozostawiono natomiast pełną swobodę obrotu we wszystkich punktach podparcia.



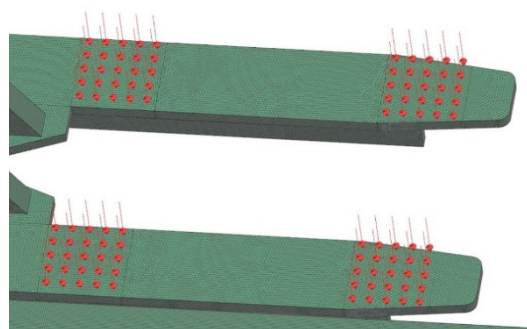
Rysunek 5. Zastąpienie kół jezdnych więzami

Obciążenia konstrukcji dostosowano do wariantów modelu obliczeniowego. W przypadku wariantu pierwszego zastosowano obciążenie siłą pionową 29430 N, którą przyłożono w miejscu mocowania haka do belki wysuwnej wysięgnika (rys. 6). Przyjęto obciążenie próbne odpowiadające dwukrotnej wartości założonego udźwigu żurawia.



Rysunek 6. Obciążenie konstrukcji dla wariantu pierwszego modelu obliczeniowego

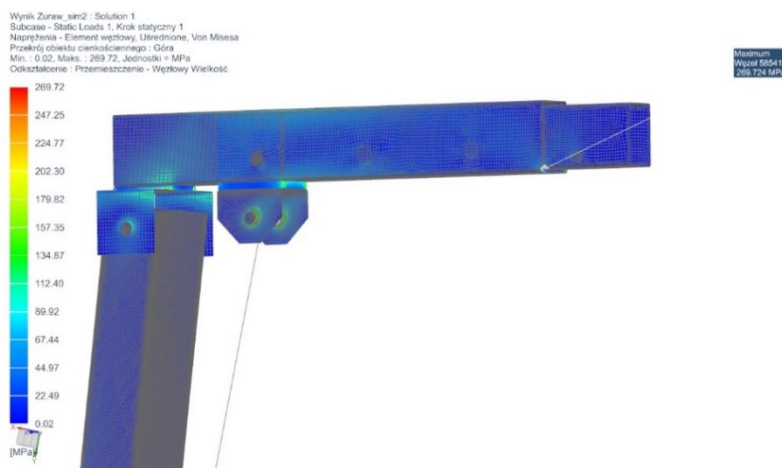
W przypadku wariantu drugiego zastosowano obciążenie siłą 9810 N, które rozłożono w sposób ciągły na tych fragmentach powierzchni wideł, na których opiera się europaleta (rys. 7). W tym przypadku, podobnie jak dla wariantu pierwszego, również zastosowano dwukrotnie większe obciążenie próbne od zakładanego udźwigu.



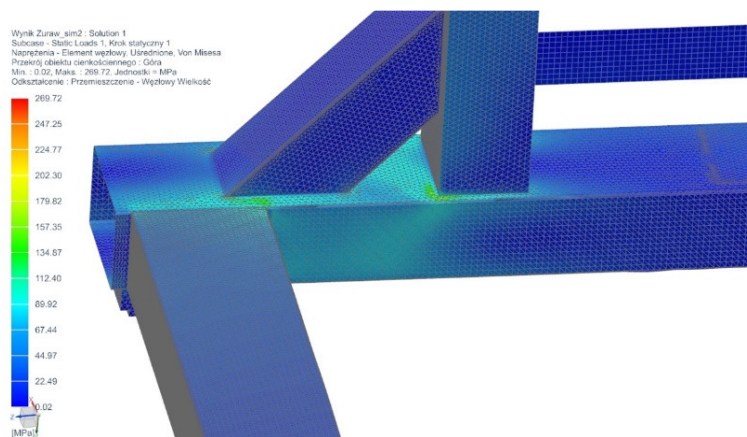
Rysunek 7. Obciążenie konstrukcji dla wariantu drugiego modelu obliczeniowego

#### 4. Analiza wytrzymałości i sztywności projektowanego żurawia warsztatowego

Analizy numeryczne dla obu wariantów modelu obliczeniowego przeprowadzono przy użyciu oprogramowania Siemens NX Nastran [2]. W pierwszej kolejności dla każdego wariantu wykonano obliczenia naprężeń zredukowanych. Na rysunkach 8 i 9 pokazano rozkład naprężeń zredukowanych jaki wystąpi w konstrukcji żurawia przy podnoszeniu z użyciem haka dwukrotnie większego ładunku od dopuszczalnego. Stwierdzono, że nawet przy dwukrotnym przekroczeniu dopuszczalnego udźwigu naprężenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych, a największe ich wartości występują w miejscach połączeń realizowanych przy użyciu sztywnych elementów skończonych oraz w miejscach występowania karbów spowodowanych pominięciem w modelu zaokrąglenia i sfazowań.



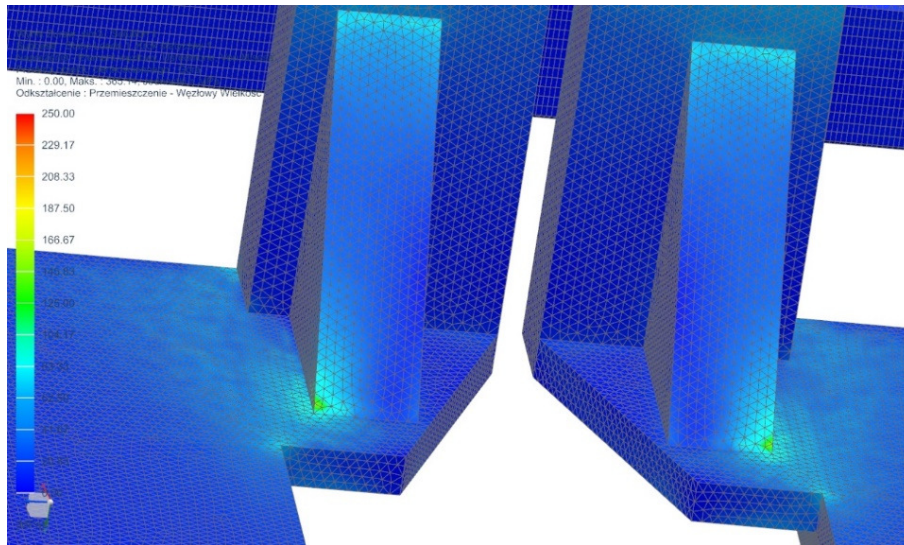
Rysunek 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w wysięgniku żurawia warsztatowego przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka



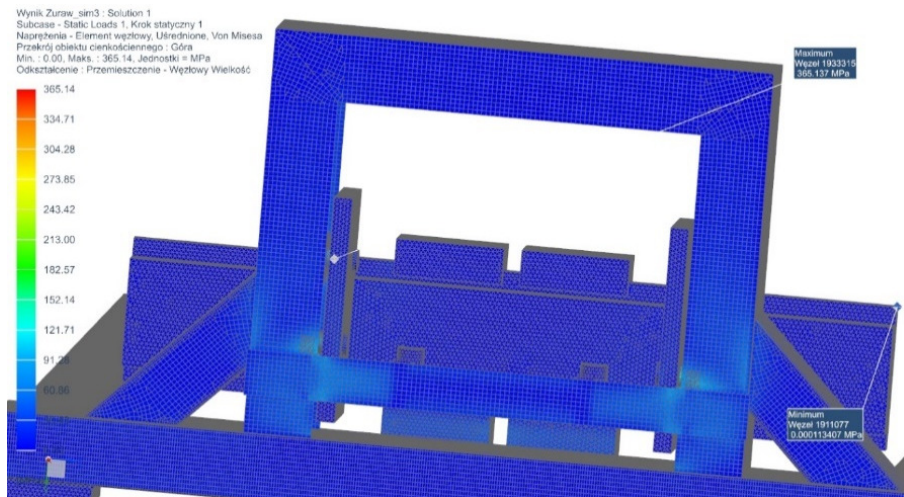
Rysunek 9. Rozkład naprężeń zredukowanych w miejscu połączenia ramy z podstawą przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka



Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych jaki wystąpi w konstrukcji przy podnoszeniu ładunku z użyciem widel. Przy uwzględnieniu w obliczeniach dwukrotnie większego ładunku od dopuszczalnego stwierdzono co prawda przekroczenie granicy plastyczności użytego materiału ( $R_e = 270 \text{ MPa}$ ) [13], ale biorąc pod uwagę, że największe naprężenia wystąpiły w miejscu lokalnego karbu, a obciążenie było dwukrotnie większe niż dopuszczalne, konstrukcję można uznać za prawidłowo zaprojektowaną pod względem wytrzymałościowym.

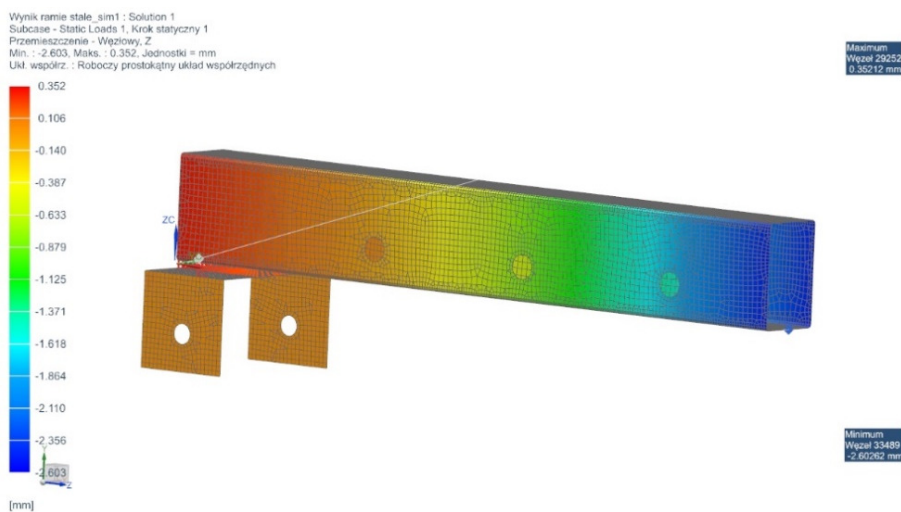


Rysunek 10. Rozkład naprężeń zredukowanych przy podnoszeniu ładunku z użyciem widel

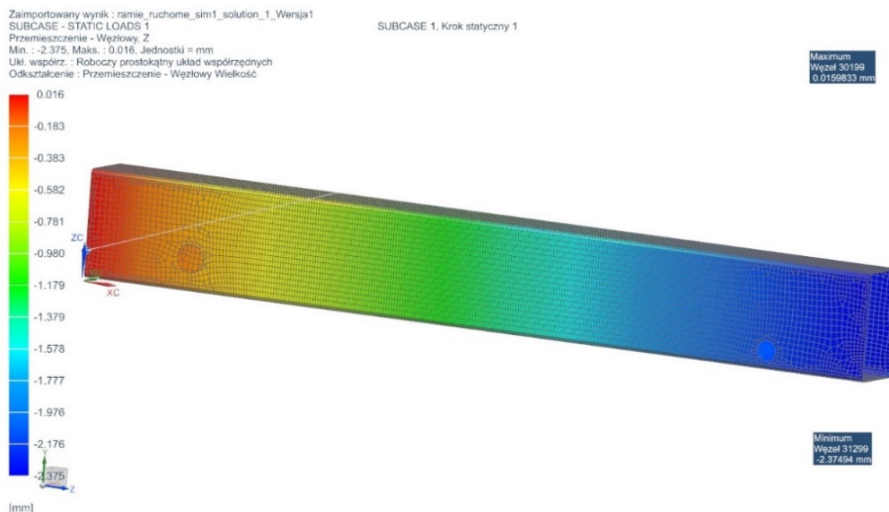


Rysunek 11. Rozkład naprężeń zredukowanych przy podnoszeniu ładunku z użyciem widel

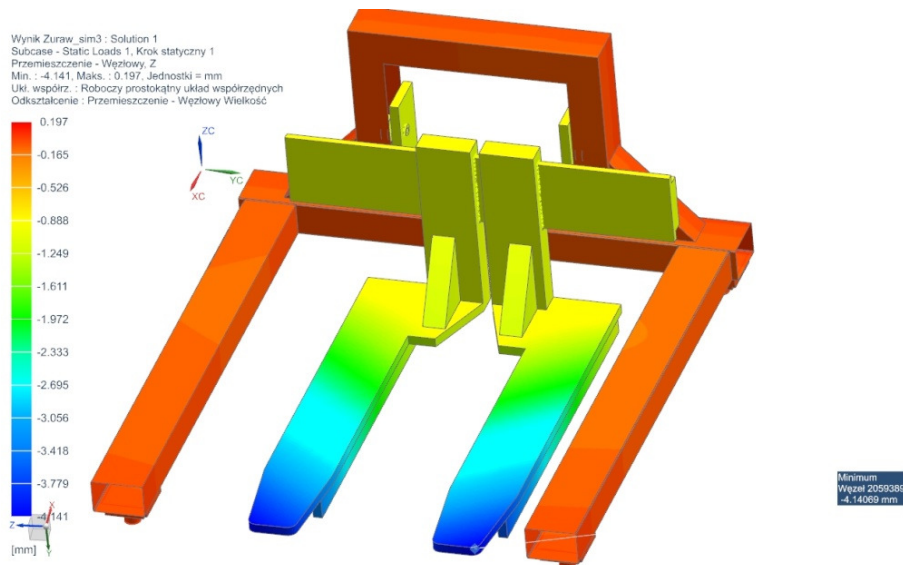
Po obliczeniach wytrzymałościowych przeprowadzono analizę sztywności konstrukcji. Sprawdzenia sztywności dokonano na podstawie obliczonych wartości pionowych przemieszczeń węzłów (rys. 12-14), które dla wybranych elementów struktury żurawia porównano z wartościami dopuszczalnych strzałek ugięcia. Na podstawie danych z literatury przyjęto, że dopuszczalna strzałka ugięcia wynosi  $f = L/300$ , gdzie  $L$  jest długością analizowanego elementu struktury. Wyznaczone w oparciu o powyższe kryterium strzałki ugięcia wyniosły: 3.16 mm dla wideł oraz po 2 mm dla obu członów wysięgnika.



Rysunek 12. Przemieszczenia pionowe węzłów w członie podstawowym wysięgnika przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka



Rysunek 13. Przemieszczenia pionowe węzłów w członie wysuwym wysięgnika przy podnoszeniu ładunku z użyciem haka



Rysunek 14. Przeszyczenia pionowe przy podnoszeniu ładunku z użyciem wideł

Po przeprowadzonej analizie okazało się, że ugięcia elementów są nieznacznie większe od teoretycznych, jednak można uznać je za dopuszczalne, gdyż analizy przeprowadzono dla dwukrotnie większych obciążeń od założonych udźwigów.

## 5. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono modele geometryczny i obliczeniowy projektowanego mobilnego żurawia warsztatowego. Powyższe modele opracowano, a następnie poddano analizie metodą elementów skończonych w programie Siemens NX NASTRAN. Analizy numeryczne przeprowadzono dla dwóch wariantów modelu obliczeniowego, które różnicowano strukturalnie ze względu na rodzaj wykonywanych ruchów roboczych (przy użyciu haka lub wideł) i przekazywane na strukturę żurawia obciążenia (rys. 4). Analizy przeprowadzono w celu sprawdzenia wytrzymałości oraz sztywności projektowanej konstrukcji.

Na podstawie analiz numerycznych stwierdzono, że:

- Przy podnoszeniu z użyciem haka nawet dwukrotnie większego ładunku od dopuszczalnego, naprężenia w żadnym miejscu konstrukcji nie przekraczają wartości dopuszczalnych;
- Pomimo, iż przy podnoszeniu ładunku z użyciem wideł w miejscu lokalnego karbu doszło do przekroczenia granicy plastyczności materiału, to z uwagi na fakt, że zadane obciążenie było dwukrotnie większe niż dopuszczalne, a ponadto we wspomnianej lokalizacji wystąpiły pewne nieprawidłowości w podziale struktury na elementy skończone, konstrukcję można uznać za prawidłowo zaprojektowaną pod względem wytrzymałościowym;
- Chociaż obliczone dla członów wysięgnika oraz wideł strzałki ugięcia są nieznacznie większe od teoretycznych, to można uznać je za dopuszczalne, gdyż

analizy przeprowadzono dla dwukrotnie większych obciążeń od założonych udźwigów.

## LITERATURA

1. JÓŹWIAK D., ANTOSIEWICZ M.: „NX – Podstawy modelowania. Synchronous & Realize Shape”, CAMdivision 2015 (dostępny on-line pod adresem: <https://3dcad.pl/aktualnosci/9023/podrecznik-nx-cad-podstawy-modelowania.html>).
2. KOH J.: „Siemens NX Nastran: Tutorials for Beginners and Advanced Users” - CreateSpace Independent Publishing Platform; 1 edition (February 9, 2017).
3. Serwis internetowy firmy TOYA: <http://yato.com/products/4/YT-55562>, 01.09.2018.
4. Serwis internetowy firmy Lema Engineering: <https://www.lemawozki.pl/ptm-1016-f-szybka-pompa.html>, 01.08.2018.
5. Serwis internetowy Denios: <https://www.denios.pl/shop/zuraw-z-przeciwwagagk-350-do-ciezarow-trudno-dostepnych-udzwig-100-350-kg>, 1.09.2018.
6. Serwis internetowy Denios: <https://www.denios.pl/shop/zuraw-przemyslowy-ik-1500-z-ze-specjalna-pompa-hydr-podwozie-rownolegle-udzwig-750-1500-kg>, 01.09.2018.
7. Serwis internetowy Blickle: <https://www.blickle.co.uk/product/LH-GSPO-100K-1-FI-610717>, 12.08.2019.
8. Serwis internetowy Autokrat: <https://www.autokrat.pl/p/domkrat-gidravlicheskiy-la-jns-03-lavita>, 12.08.2019.
9. DIN 8187 (ISO R606-1984) – Łańcuchy rolkowe – norma europejska.
10. Serwis internetowy SKF: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6205-2RSH>, 12.08.2019.
11. RAKOWSKI G., KACPRZYK Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
12. TRĄBKA A.: Dobór uproszczeń podczas opracowywania modeli numerycznych żurawi z zastosowaniem metody elementów skończonych. Teoria maszyn i mechanizmów, T.2, Wyd. AGH 2004, 91-96.
13. Serwis internetowy Konsorcjum Stali: [http://www.konsorcjumstali.com.pl/kategorie/wlasnoscistali\\_wg\\_en\\_100251993](http://www.konsorcjumstali.com.pl/kategorie/wlasnoscistali_wg_en_100251993), 15.02.2019.

Barbora BENČÖOVÁ<sup>1</sup>, Marieta ŠOLTÉSOVÁ<sup>2</sup>

Supervisor: Mário MOLOKÁČ<sup>3</sup>

## WPLYW TRANSPORTU NA ŚRODOWISKO

**Streszczenie:** Niniejsze opracowanie skupia się na wpływie transportu autobusowego na środowisko. W odniesieniu do środowiska transport jest źródłem emisji, zarówno podstawowych zanieczyszczeń, jak i gazów cieplarnianych, hałasu i wibracji. Wywiera również presję na glebę i wpływa na układ przestrzenny, powodując zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa. Ekologiczny wpływ transportu na środowisko jest niekorzystny i często jest nieunikniony. Zużycie energii i produkcja gazów cieplarnianych stanowią coraz większy problem w dzisiejszym społeczeństwie. Dlatego efektywność transportu w zakresie zużycia energii i produkcji gazów cieplarnianych jest coraz częściej monitorowana.

**Słowa kluczowe:** transport, transport autobusowy, środowisko, powietrze, zanieczyszczenie powietrza

## THE IMPACT OF TRANSPORT ON THE ENVIRONMENT

**Summary:** This study focuses on the impact of bus transport on the environment. In relation to the environment, transport is a source of emissions, whether basic pollutants or greenhouse gases, noise and vibration. It also puts pressure on the soil and affects the spatial arrangement, causing health and other safety risks. The ecological impacts of transport on the environment are unfavorable and are often inevitable. Energy consumption and greenhouse gas production are an increasing problem in today's society. Therefore, the efficiency of transport in energy consumption and greenhouse gas production is increasingly monitored.

**Keywords:** transport, environment, air, air pollution

---

<sup>1</sup> Technical University of Košice, Faculty of mining, ecology, process control and geotechnologies, Institute of Earth resources, Department of geo and mining tourism, email: barbora.bencoova@tuke.sk

<sup>2</sup> Technical University of Košice, Faculty of mining, ecology, process control and geotechnologies, Institute of Earth resources, Department of geo and mining tourism, email: marieta.soltesova@tuke.sk

<sup>3</sup> Technical University of Košice, Faculty of mining, ecology, process control and geotechnologies, Institute of Earth resources, Department of geo and mining tourism, email: mario.molokac@tuke.sk

## 1. Introduction

However, the real impact of transport in terms of energy consumption and greenhouse gas production always depends to a large extent on the geographical conditions of the region, the available quality and quantity of transport infrastructure, the traction used, the type of transport and the transport technology used [1]. To global environmental issues such as climate change, for example, is air pollution by emissions. The transport sector, which is one of the major causes of energy and environmental problems, is also one of the largest consumers of fossil energy resources. The ecological impacts of transport on the environment are unfavorable and are often inevitable. Energy consumption and greenhouse gas production are an increasing problem in today's society. Therefore, the efficiency of transport in energy consumption and greenhouse gas production is increasingly monitored. At present, the development of transport service plans for cities and regions takes into account mainly the aspect of the public interest in the form of ensuring a certain level of mobility by public passenger transport for the population. Significant emphasis is also placed on the financial aspect in order to ensure the long-term sustainability of the entire transport system, also in terms of the demands on public finances [1,2].

## 2. Analysis of basic gases polluting the environment from bus transport

"The IPCC (International Panel on Climate Change), which was established in 1988 by two organizations, is the expert guarantor for defining methodologies for determining greenhouse gas emissions. WMO - World Meteorological Organization and UNEP - UN Environment Program. The mission of the IPCC is to assess scientific, technical and socio-economic information that is relevant to climate change impacts. It is also responsible for developing and publishing guidelines and manuals on GHG emission inventory methodologies for national experts." [4].

### Nitrogen oxid (NO<sub>x</sub>)

Combustion of hydrocarbon fuels at very high temperatures is required for nitrogen oxide to form. Only under these conditions is nitric oxide (NO) and also nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) actively formed, which 10-20% of the total exhaust emissions in diesel engines and approximately 2% in petrol engines in normal traffic.

Nitrous oxide, in the chemical abbreviation N<sub>2</sub>O, is a gas whose excess in the air directly and actively depletes the ozone layer above the Earth. This gas is considered to have a greenhouse effect as well as CO<sub>2</sub> and methane [3].

*Table 1. Development of nitrogen oxide from 2007 to 2017 (all values are given in tons)*

Indicator	Nitrogen oxide
2007	9975.1
2008	8665
2009	8167.3
2010	9323.5
2011	7883

2012	8286.2
2013	8538.2
2014	8611.1
2015	7815.7
2016	6738.7
2017	6922.6

Figure 1 shows the annual emissions of nitrogen oxide from 2007 to 2017. We can see a declining trend in the production of this gas. This decrease may be due to the introduction of stricter standards for motor vehicles as well as bus vehicles.

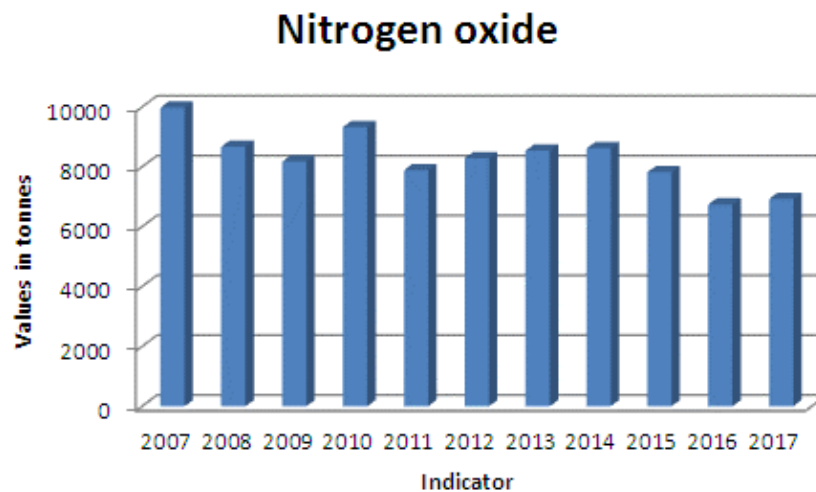


Figure 1. Annual emissions of nitrogen oxide from 2007 to 2017 (all values are given in tonnes)

### Carbon monoxide (CO)

Carbon monoxide is formed as a result of a chemical reaction with incomplete oxidation of carbon. Carbon monoxide has no odor, however, it is highly toxic. When inhaled into the lungs, when carbon monoxide binds to red blood cells and comes into contact with hemoglobin in the blood, it is approximately 240 times more effective than oxygen. This is exactly why the compound of carbon monoxide and hemoglobin in the blood remains stable and hemoglobin is suddenly unable to bind oxygen to itself, thereby oxygenating all the tissues and organs in the body [3]. A study published in the American Journal of Epidemiology suggests that carbon monoxide concentrations in tunnels (Brooklyn Battery Tunnel and Queens Midtown Tunnel) are considered to be the primary cause of excessive cardiovascular disease and death among transport workers [3].

Table 2. Development of carbon monoxide from 2007 to 2017 (all values are given in tons)

Indicator	Carbon monoxide
2007	102 662.80
2008	94 378.00
2009	68 477.10
2010	88 292.00
2011	101 052.70
2012	99 454.30
2013	100 635.40
2014	114 351.80
2015	113 059.30
2016	110 510.40
2017	114 313.40

Table 2 shows the development of carbon monoxide from 2007 to 2017. From 2007 to 2017, we can see a slight increase in the production of this gas.

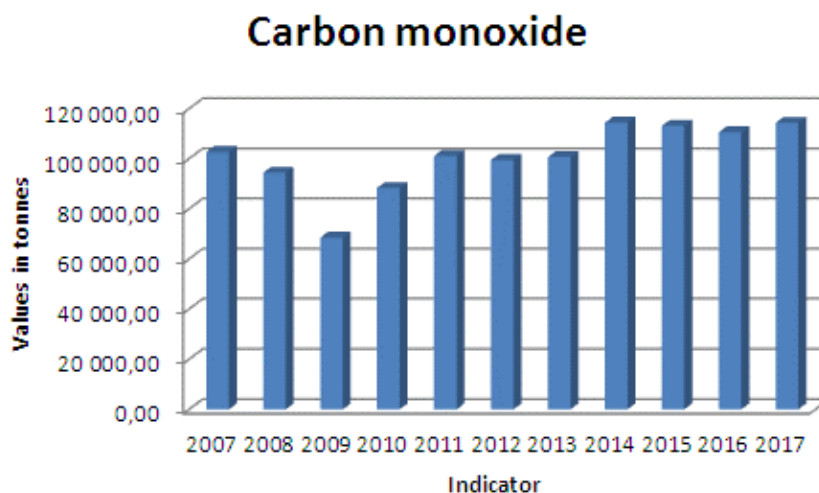


Figure 2. Annual emissions of carbon monoxide from 2007 to 2017 (all values are given in tonnes)

Reducing the adverse effects of transport is an important goal of EU policy. Within the main components of activity, transport is shifting to the least polluting and efficient modes of transport, using more sustainable transport technologies, fuels and infrastructure, and ensuring that transport prices take full account of adverse environmental and health impacts [5].



### 3. Comparison of diesel buses and electric buses

Suppose a bus in a city runs an average of 300km a day. The range of electric buses used today, designed for a low number of charges, is 110 to 200 km. In this case, there is visibly a significant difference between the values given by the manufacturer and the real reality [5]. An important factor influencing the range of buses is the number of passengers (vehicle load), the driver's driving style, vehicle lighting (outdoor and indoor), air conditioning or heating, the number of stops and starts, the terrain on which the line leads but also from outside temperature [4].

In real operation, the electric bus cannot run until it is completely discharged somewhere in the middle of the route, which is also reflected in the lower practical range. Therefore, the operation of electric buses must be adapted to the worst possible range, not the best. There are various ways in which this situation can be resolved, such as deploying electric buses on short routes or replacing one conventional diesel bus with two electric buses, which means greater investment. Another option is to charge them during the day [5].

There are several ways to charge, but they have in common that it is necessary to set aside a certain amount of time and space for charging. Where today a diesel or gas bus can turn around and serve another departure, the electric bus must stop and recharge. And then he has to be replaced by another bus.

#### Bus capacity

Diesel or gas buses are in large numbers, which are used in cities are articulated buses, while articulated electric buses appear only in small quantities. So far, such an articulated electric bus has been introduced in only 1 piece, and it was in the German city of Aachen, where another 201 articulated electric buses should be delivered in 2018. This would mean replacing diesel buses with electric buses in a 2: 1 ratio [8].

#### Price of buses

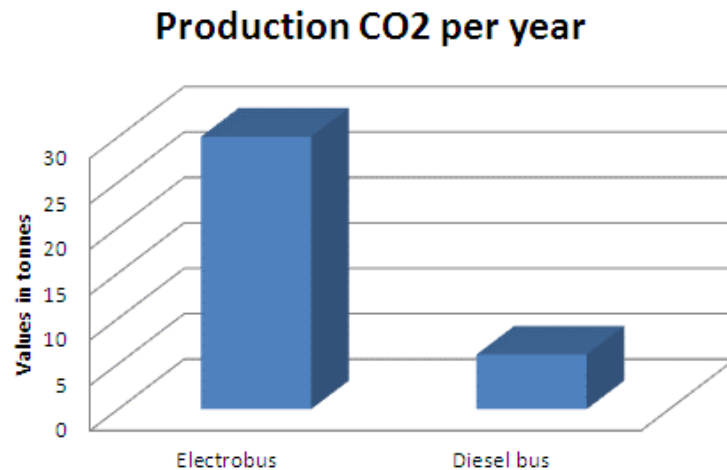
Electric buses are still an expensive product. Their purchase price is about 2.5 times higher than in the case of conventional buses and a third higher than in the case of trolleybuses. If the city was going to buy 90 diesel buses, it would buy only 36 electric buses for the same price [4].

The possibility of financing electric buses is offered through Eurofunds. The IROP program mentions the renewal of the bus fleet as one of the supported activities. However, all types of drive are supported, so electric buses are not more advantageous from the point of view of support through Eurofunds [5].

#### Ecological aspect

Electric cars and electric buses do not have to be as environmentally friendly as it is presented. As the results of the Swedish Institute for the Environment's analysis show, the ecological weakness of these vehicles is the production of batteries and their recycling [8].

In the production of lithium-ion batteries, 150 - 200 kg of CO<sub>2</sub> emissions are produced per 1 kWh of capacity. The SOR EBN electric buses used in Slovakia with a range of 110 to 160 km stated by the manufacturer have a battery capacity of 172 kWh. The production of batteries therefore produces around 30 tonnes of CO<sub>2</sub> emissions. The average diesel bus travels 60,000 kilometers a year, producing 6 tons of CO<sub>2</sub> emissions [7,8].



*Figure 3. Comparison of the production of annual emissions from the electric bus and from the diesel bus (all values are given in tonnes)*

The above comparison, which is shown in Figure 11, only applies to batteries and the production of the whole electric bus itself is not included in the emission calculations. The mentioned electric bus will thus start to be more environmentally friendly compared to a diesel bus only after 5 years of operation. And even if only as many outputs run as a diesel bus, which is at least debatable and, secondly, the production of electricity in Slovakia is associated with the production of carbon dioxide. Another important piece of information is the battery life of SOR EBN electric buses, which are used in Slovakia, according to the manufacturer, it is stated to be 6 years. Only some of them are used in battery recycling, and further development will be needed to talk about environmental friendliness in this area as well [7].

### **Providing power to buses**

It is not possible to build charging stations anywhere and it is necessary to have selected places where the distribution infrastructure can charge buses. It is also necessary to set aside suitable parking areas where electric buses could be recharged. Technical charging solutions are different, there is still no standard and there is no guarantee that a charging point built today will be suitable in the future [8].

Research by the Irish electricity distribution company ESB shows that if all vehicles in the EU were electric, electricity consumption would increase by 24%, which means that it will be necessary to prepare for such an increase in electricity consumption [8].

#### 4. Conclusions

We know that transport plays a very important role in society and the economy. The very quality of our lives depends on its efficiency and availability. At the same time, it is a key source of environmental pressure in the European Union and contributes to climate change. Transport consumes one third of all final energy in the European Union. Most of this energy comes from oil. This means that transport is responsible for a large share of the EU's greenhouse gas emissions and makes a vital contribution to climate change. While in other sectors of the economy, such as energy production and industry, emissions have fallen since 1990, emissions from transport have increased. Cars, vans, trucks and buses produce more than 70% of total greenhouse gas emissions from transport. From the processed analyzes, where gas buses were compared with electric buses, it is clear that electric buses do not in fact belong to such suitable solutions for reducing the burden on the environment. Although the buses themselves do not produce any emissions, we have found that the production of lithium batteries, which are needed to power electric buses, produces much more CO<sub>2</sub> emissions than gas or diesel buses.

#### REFERENCES

1. SUNY HRUSOVSKY M., ZHANG C., LANG M.: A time- dependent fuzzy programming approach for the green multimodal routing problem with rail service capacity in certainty and road traffic congestion. *Complexity* 2018.
2. PUNDIN B.P.: Engine emissions pollutant formation and advances in control technology. Alpha Science, ISBN 978-1-84265-401-9.
3. KORENOVA L.: Emisie skleníkových plynov z dopravy. Available to web: <https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=1081&print=yes>.
4. OU Y., BEKTA T., BENNEL J.: Sustainability SI: Multimode multicommodity network design model for intermodal freight transportation with transfer and emission costs. *Networks and Spatial Economics* (2016)16, 303-329.
5. ROMARE, M.: The life cycle energy consumption and greenhouse gas emissions from lithium- Ion batteries. Swedish energy agency. ISBN 978-91-88319-30-9.
6. KELEMEN M.: Fuzzy model for quantitative assessment of environmental start-up projects in air transport. *International Journal of Environmental Research and Public Health- Basel*, 2019, 1-21.
7. DEMIR E., BURGHOLZER W., HRUSOVSKY M., ARIKAN E., JAMMERNEGG W., VAN WOENSEL T.: A green intermodal service network design problem with travel uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, (2016)93, 789-807.
8. YAP M., CATS O., VAN AREM B.: Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data. *Transportmetrica A- Transport science- Delft*, 2020, 23-42.

**Acknowledgements**

“This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-19-0328.”

Marek BRYKCZYŃSKI<sup>1</sup>

## **ANALYSIS OF THE ELECTRIC POWER STEERING SYSTEM'S WORM GEAR FRICTION IMPACT ON THE STEERING WHEEL TORQUE**

**Summary:** The article analyzes the effect of friction from the worm gear of a single pinion electric power steering system on the value of the torque applied to it, i.e. the torque of the forces exerted by the car driver. The considered system was treated as isolated, the influence of external forces from the forces acting on the wheels of the car, and consequently on its suspension, was not taken into account. Isolation made it possible to assess the influence of friction in the worm gear of the power steering system on the value of the torque applied to it and felt by the driver.

**Keywords:** steering wheel torque, friction, LuGre model, worm gear

## **ANALIZA WPŁYWU TARCIA PRZEKŁADNI ŚLIMAKOWEJ ELEKTRYCZNEGO UKŁADU WSPOMAGANIA KIEROWNICY NA WARTOŚĆ PRZYŁOŻONEGO DO NIEJ MOMENTU OBROTOWEGO**

**Streszczenie:** W artykule analizowano wpływ tarcia z przekładni ślimakowej jednozębnikowego elektrycznego układu wspomagania kierownicy na wartość przyłożonego do niej momentu obrotowego, czyli momentu pary sił wywieranych na nią przez kierowcę samochodu. Rozważany układ potraktowano jako wyizolowany, nie uwzględniono wpływu oddziaływań sił zewnętrznych, pochodzących od sił działających na koła samochodu, a w konsekwencji także na jego zawieszenie. Wyizolowanie umożliwiło ocenę wpływu tarcia w przekładni ślimakowej układu wspomagania kierownicy na wartość przyłożonego do niej i odczuwanego przez kierowcę momentu obrotowego.

**Słowa kluczowe:** moment na kierownicy, tarcie, model LuGre, przekładnia ślimakowa

### **1. Introduction**

#### **1.1. Steering feel**

Beside driver's sight, i.e. vision, a contact of the drivers' hands with a steering wheel and a sensation behind that is a key factor in the overall assessment of the vehicle's

---

<sup>1</sup> University of Bielsko-Biała, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, Machine Design and Maintenance

current state on the road. This information has an impact on the driver's and other road traffic participants safety.

The understanding of phenomenon which impacts the steering feel<sup>2</sup> is crucial when it comes to neglecting all of the potential factors which do not originate from the current road or the vehicle state. Hence, decomposition of the electric steering systems model to units and considering their overall influence as units is forecast by author to be beneficial. This approach allows to model and consequently implement in a control algorithm a measure to compensate all of the predicted, by design and prototyping stages, disturbances which may alter the actually expected feeling between a driver and a road.

### 1.2. LuGre friction model

At the present state of knowledge of the friction, the LuGre friction model is commonly applied when it comes to friction modelling and compensating. It was developed by researches team from the Lund University, Sweden and Polytechnic of Grenoble, France. In general model is a bristle model and it is a development of the Dhal model. The LuGre model captures the major friction effects like the Stribeck effect, stiction and hysteresis. The mathematical formulation of the LuGre model is following [1]:

$$\dot{z} = v - \frac{|v|}{g(v)} \cdot z \quad (1)$$

$$F_f = \sigma_0 \cdot z + \sigma_1 \cdot \dot{z} + \sigma_2 \cdot v \quad (2)$$

$$g(v) = \frac{1}{\sigma_0} \cdot \left( F_C + (F_S - F_C) \cdot e^{-\left(\frac{v}{v_S}\right)^2} \right) \quad (3)$$

where:

$z, \dot{z}$  - friction state and its first derivative [1],

$F_f$  - friction force,

$v$  - sliding velocity,

$g(v)$  - function capturing Coulomb friction and Stribeck effect [1, 2],

$\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, F_S, F_C, v_S$  - refer Table 1.

Variable  $z$  is the internal friction forces state and it models the memory of friction[17]. Sliding velocity  $v$  is given by the equation below and it represents sliding between worm shaft teeth and worm wheel teeth [7], [8].

$$v = \frac{v_{wg}}{\cos \gamma} \quad (4)$$

where:

$v_{wg}$ - velocity of the worm point of contact with worm wheel,

$\gamma$ - worm thread lead angle.

---

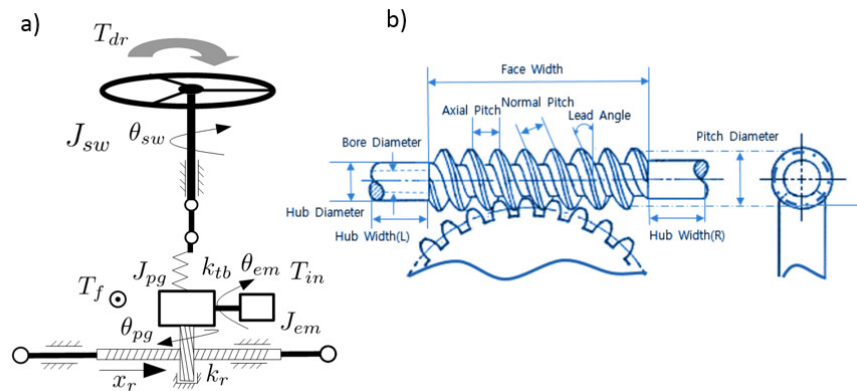
<sup>2</sup> Steering feel – a subjective and unit-less evaluation of overall road and vehicle feedback via steering wheel to the driver which is considered as the right or demanded on market by experienced technical drivers who are in charge for this assessment and are authorized by the carmakers

Table 1. LuGre model parameters [1, 2]

Parameter	Value	Unit	Meaning
$\sigma_0$	$10^5$	$N/m$	stiffness
$\sigma_1$	$\sqrt{10^5}$	$Ns/m$	micro-damping
$\sigma_2$	0.4	$Ns/m$	viscosity
$F_C$	1	$N$	Coulomb friction force
$F_S$	1.5	$N$	Stiction force
$v_S$	0.001	$m/s$	speed of approaching function $g(v)$ to Coulomb friction force

## 2. Electric power steering system model

In order to perform analysis of a single pinion EPS a model was created. A set of research publications as well as technical specifications were read [3, 4, 7, 8, 11÷13]. The received outcome of the literature analysis allowed to supply the simulation model with data which is close to the real system.



Picture 1. a) Single pinion electric power steering and b) worm gear [22]

### 2.1. Mathematical model of SP-EPS<sup>3</sup>

A formalized representation of the mathematical model:

$$[A] \cdot \ddot{\boldsymbol{\varphi}} + [B] \cdot \dot{\boldsymbol{\varphi}} + [C] \cdot \boldsymbol{\varphi} = \boldsymbol{q} \quad (5)$$

<sup>3</sup> SP-EPS Single Pinion Electric Power Steering

$$\begin{bmatrix} J_{sw} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_{pg} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{em} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_{sw} \\ \ddot{\theta}_{pg} \\ \ddot{x}_r \\ \ddot{\theta}_{em} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{sw} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_{pg} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{em} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{sw} \\ \dot{\theta}_{pg} \\ \dot{x}_r \\ \dot{\theta}_{em} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{tb} & -k_{tb} & 0 & 0 \\ -k_{tb} & k_{tb} + k_r & \frac{-k_r}{r} & 0 \\ 0 & \frac{-k_r}{r} & \frac{k_r}{r^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_{sw} \\ \theta_{pg} \\ x_r \\ \theta_{em} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{dr} \\ i \cdot (T_{in} - T_f) \\ F \\ T_{em} - T_{in} \end{bmatrix} \quad (6)$$

where:

$\theta_{sw}, \theta_{pg}, \theta_{em}$  – respectively steering wheel, pinion and electric motor angles,  
 $T_{dr}, T_{in}, T_f, T_{em}$  – respectively driver, assistance, friction and DC motor torques.

## 2.2. System parameters

Table 2. Steering wheel parameters

Magnitude	Value and unit	Description
$J_{sw}$	$3 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$	Steering wheel moment of inertia
$h_{sw}$	$0.072 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$	Steering wheel viscous damping
$k_{tb}$	$2.6 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\circ}$	Torsion bar stiffness
$J_{pg}$	$0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$	Pinion-gearbox assembly moment of inertia
$h_{pg}$	$0.5 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$	Pinion-gearbox assembly viscous damping
$T_{em}$	$\leq 4.5 \text{ N} \cdot \text{m}$	Assistance torque from electric motor

Table 3. Worm gear and Brushless DC motor parameters

Magnitude	Value and unit	Description
$r_{worm}$	$8 \text{ mm}$	worm shaft radius
$\gamma$	$0.33161 \text{ rad}$	Worm's thread lead angle
$\cos \gamma$	$0.94552$	Cosine of the lead angle
$i$	$24$	Transmission ratio
$J_{em}$	$76 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$	Electric motor's moment of inertia
$h_{em}$	$0.05 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$	Electric motor's viscous damping
$T_{em}$	$4.5 \cdot 6 \text{ N} \cdot \text{m}$	Electromagnetic torque



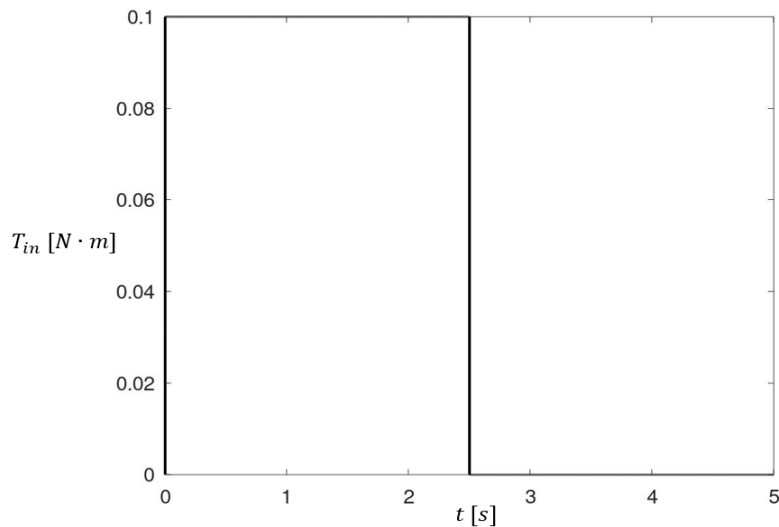
Table 4. Pinion and rack assembly parameters

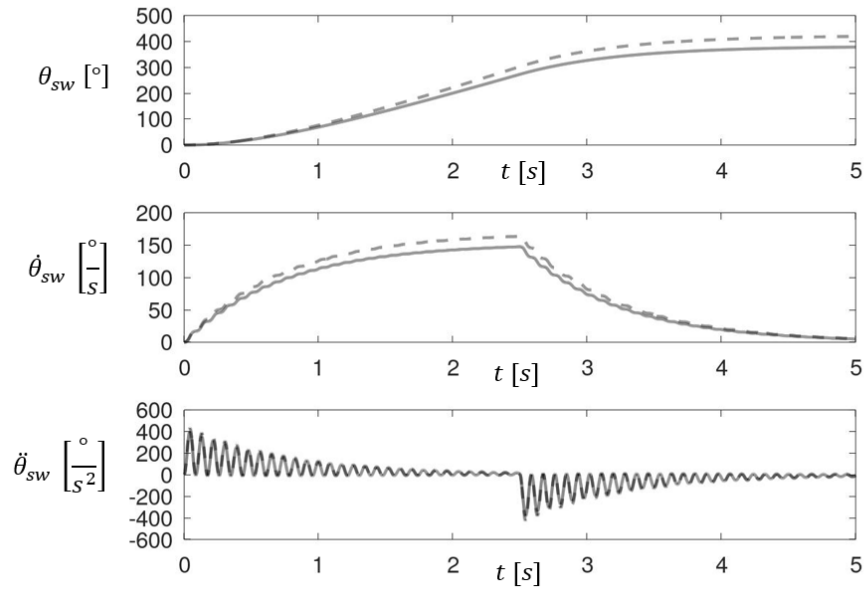
Magnitude	Value and unit	Description
$x_r$	$mm$	Rack 's linear displacement
$m_r$	$1000[kg]$	Collective mass of vehicle front, tires on the rack
$k_r$	$4000 \frac{N \cdot m}{rad}$	Transformed by pinion-rack C-factor vehicle's front suspension and rack's stiffness
$h_r$	$35 \cdot 10^3 \frac{N \cdot s \cdot m^{-1}}$	Rack's viscous damping
$r$	$55 \frac{mm}{rev}$	Pinion-rack C factor

### 3. Numerical examination of model

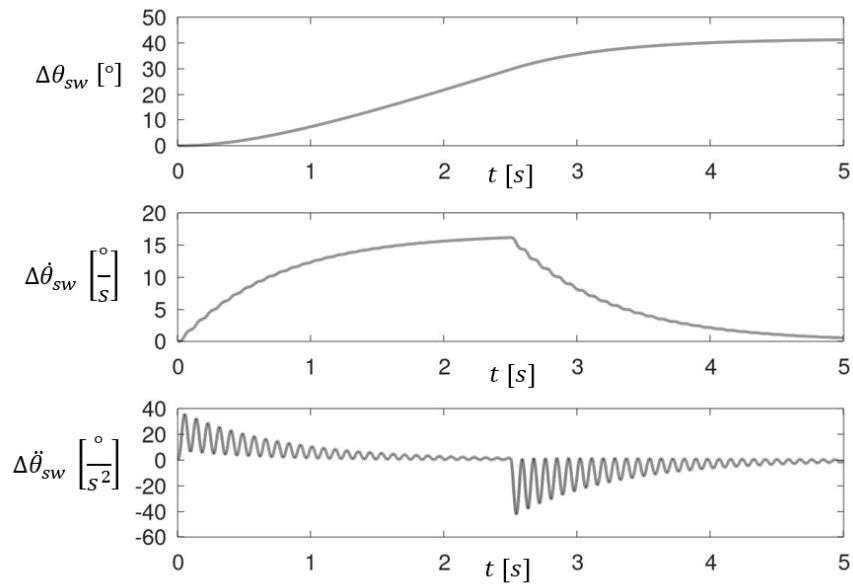
The model was solved numerically in the GNU Octave. All computations were performed with application of Runge-Kutta method of the fourth order with the integration step equal to 0.0001. Two scenarios are to be examined: 1) step pulse torque from the brushless DC motor, 2) variable frequency sinusoidal torque signal from the brushless DC motor. Equations for the examined model were transferred to form a state space representation which was later implemented in computation algorithm. All parameters which were used in the analysis were presented on the previous pages of the article in the tables from 1 to 4.

#### 3.1. Input torque in form of pulse

Picture 2. The assistance torque  $T_{in}(t)$  as pulse



Picture 3. Steering wheel response, solid line – system with friction, dashed line – frictionless system

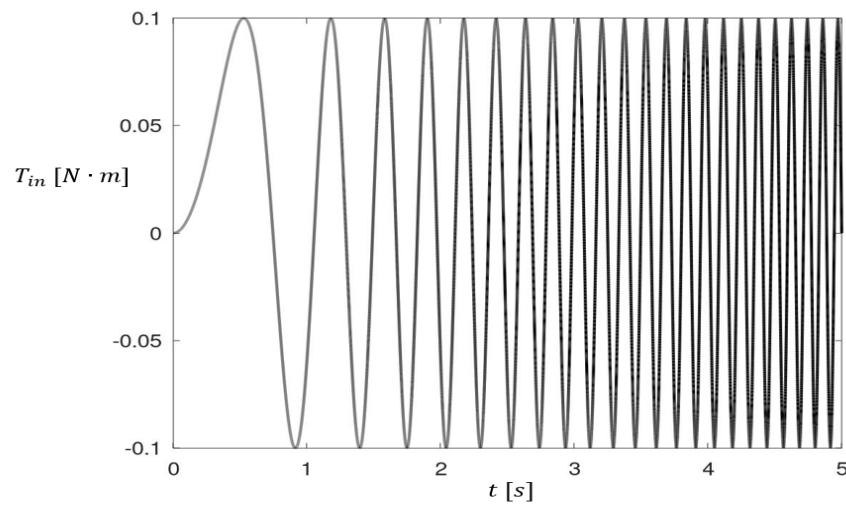


Picture 4. Delta between steering wheel response for frictionless system and system with friction

From pictures 3 and 4 it can be spotted that friction affected system travelled angle by the steering wheel is smaller than for frictionless one. This difference needs to be included in the control algorithms which estimate absolute position of the steering wheel.

### 3.2. Input torque in form of variable frequency sinewave

This type of the analysis is intended to examine what kind of system response can be expected in the scenario while a vehicle is being driven on a bumpy road. In the pictures on the following pages angle travelled by the steering wheel, its angular velocity and acceleration will be presented for systems with and without friction.



Picture 5. The assistance torque  $T_{in}(t)$  as sinewave

The sinewave assistance torque is described by the following formula:

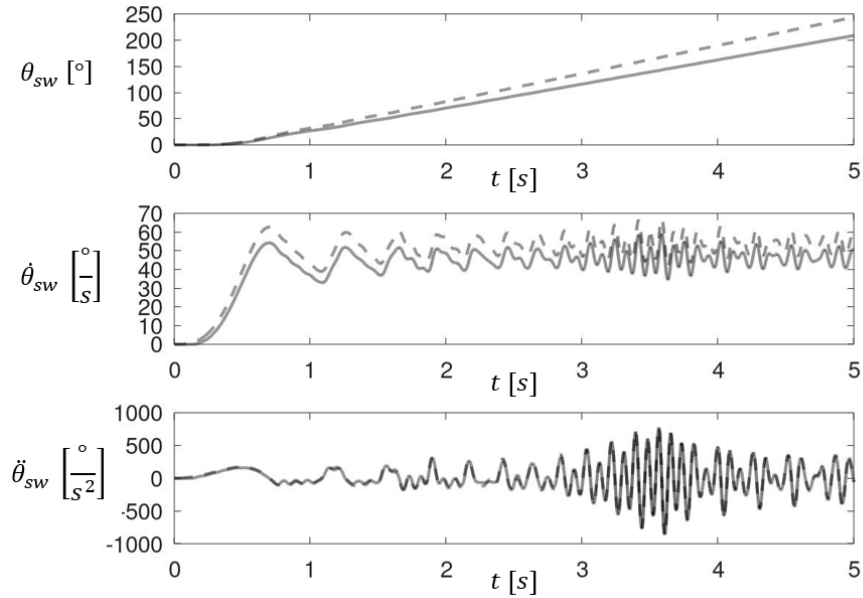
$$T_{in} = T_{in_{max}} \cdot \sin 2 \cdot \pi \cdot f(t) \cdot t \quad (7)$$

where:

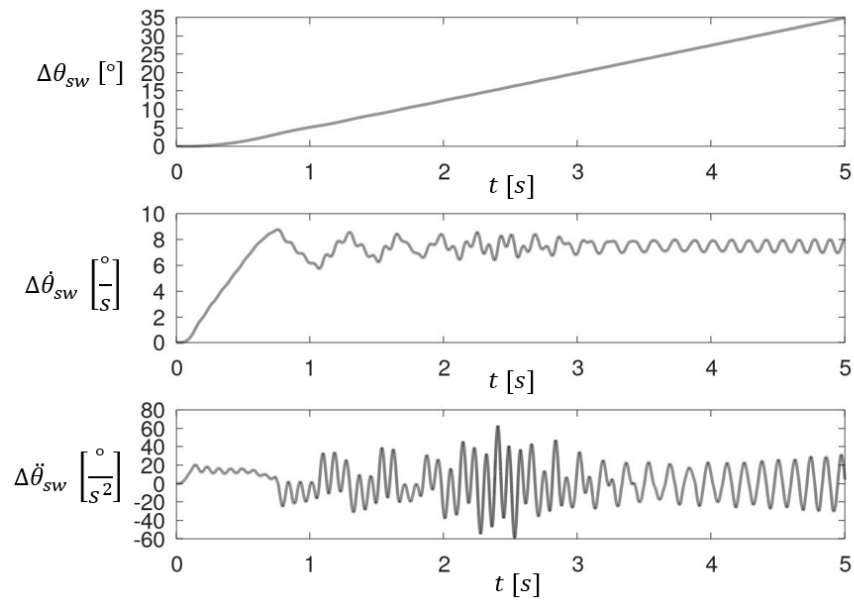
$f(t) = a \cdot t$  – linear function to model increasing frequency,

$a = 0.9 [Hz/s]$  – linear function coefficient,

$T_{in_{max}} = 0.1 [N \cdot m]$  – torque's amplitude.



Picture 6. Steering wheel response, solid line – system with friction, dashed line – frictionless system



Picture 7. Delta between steering wheel response for frictionless system and system with friction

From pictures 6 and 7 it can be concluded that friction in the worm gear introduces a lag in the system response and in consequence a delay in the assistance torque. This effect needs to be compensated in order to eliminate all of possible factors which are not related to a vehicle interaction with road.

#### 4. Summary and conclusions

The main purpose of the analysis performed in this paper was to simulate an isolated single pinion electric power steering system which is impacted by the friction in the worm gear. As the analysis outcome, beside forecast results like a smaller angle travelled by the system with friction is comparison to one without, is that friction from the worm gear actually filters out signals which can be sensed on the steering wheel. This identified friction filtering character can impact the overall road feedback in the real scenario, therefore, friction as an unwanted phenomenon is a subject of compensation [3], [4], [5], [21]. This is done by addition of compensating torque component to the assistance motor torque command. The LuGre friction model applied in this paper to emulate friction behaviour was supplied with postulated parameters [1], [2], [6]. In order to improve numerical analysis reliability these parameters should be experimentally identified. This was not a case for the analysis carried in this paper as the main target of the simulation was to identify the possible responses on the steering wheel. The simulation approach presented in this paper can be used as an additional quality measure on manufacturing lines of electric power systems in conjunction to benchmarked steering wheel torque characteristics to track units with defects or not meeting the required parameters.

#### REFERENCES

1. DE WIT C. C., LISCHINSKY P., ÅSTRÖM K. J., OLSSON H.: A New Model for Control of Systems with Friction, *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 40(1995)3, 419–425.
2. ÅSTRÖM K.J., CANUDAS-DE-WIT C.: Revisiting the LuGre Friction Model, *IEEE Control Syst.*, 28(2008)6, 101–114.
3. WILHELM F., TAMURA T., FUCHS R., MULLHAUPT P.: Friction Compensation Control for Power Steering, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 24(2016)4, 1354–1367.
4. WILHELM F., TAMURA T., MULLHAUPT P., FUCHS R.: Modeling and compensating friction in power steering, 2015 *Eur. Control Conf. ECC 2015*, 2138–2143.
5. TAMURA T., MAROONIAN A., HIGASHI M., FUCHS R.: Modeling and Simulation for Dynamic Analysis of Column Type Electric Power Steering, *JTEKT Eng. J.*, 1010(2013)1010E, 19–25.
6. N. B. (School of M. E. Do *et al.*, “Efficient Simulation of a Dynamic System with LuGre Friction,” *J. Comput. Nonlinear Dyn.*, 2007.
7. SKOCZYŁAS L.: Prędkość poślizgu w zazębieniu przekładni ślimakowej, *Arch. Technol. Masz. i Autom.*, 27(2007), 143–151.

8. CZERNIEC M., KIELBIŃSKI J.: Metoda badania kinetyki zużycia przekładni ślimakowej ze ślimakiem Archimedesesa, *Tribologia* 2009, 31–39.
9. STONE R., BALL J.K.: *Automotive Engineering Fundamentals*. SAE International, Warrendale, PA, USA 2004.
10. GILLESPIE T.D.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International, Warrendale, PA, USA 1992.
11. SAE, “Vehicle dynamics terminology,” 2008.
12. ISO, “BS ISO 8855: 2011 BSI Standards Publication Road vehicles — Vehicle dynamics and road-holding ability — Vocabulary,” 2011.
13. BADAWY A., ZURASKI J., BOLOURCHI F., CHANDY A.: Modeling and Analysis of an Electric Power Steering System. SAE TECHNICAL PAPER SERIES, International Congress and Exposition Detroit, Michigan 1999.
14. TSUNG-HSIEN H., CHIH-JUNG Y., SHIH-RUNG H., TSUNG-HUA H., MING-CHIH L.: Design of Control Logic and Compensation Strategy for Electric Power Steering Systems. Automotive Research and Testing Center (ARTC). 2009
15. FANKEM S., WEISKIRCHER T., MÜLLER S.: Model-based Rack Force Estimation for Electric Power Steering, Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.
16. WÜRGES M.: New Electrical Power Steering Systems. *Encyclopedia of Automotive Engineering*, 53(2013)03, 1–17.
17. AL-BENDER F.: Fundamentals of friction modeling. Proceedings - ASPE Spring Topical Meeting on Control of Precision Systems, ASPE 2010, (2010)48.
18. IURIAN C., IKHOUANE F., RODELLAR BENEDÉ J. J., GRIÑÓ R.: Identification of a system with dry friction. *Reports de Recerca de l’Institut d’Organització i Control de Sistemes Industrials*, 20(2005)1.
19. MACHIDA S.: Development of Meshing Variation Analysis of Worm Gear Used in Electric Power Steering, *Jtekt Eng. J.*, 1013(2016), 58–63.
20. LI S., SHENG R., CUI G., ZHENG S., YU Z., LU X.: Design of Assistance Characteristics Curve for Electric Power Steering System, 2017.
21. LI Y., SHIM T., WANG D., OFFERLE T.: Investigation Of Factors Affecting Steering Feel Of Column Assist Electric Power Steering, Proceedings of the ASME 2016 Dynamic Systems and Control Conference, October 12-14, 2016, Minneapolis, Minnesota, USA
22. EngineersEdge.com:  
[https://www.engineersedge.com/calculators/agma\\_worm\\_and\\_spur\\_gear\\_design\\_equations\\_and\\_calculators\\_15310.htm](https://www.engineersedge.com/calculators/agma_worm_and_spur_gear_design_equations_and_calculators_15310.htm), 30.10.2020

Martin BOHUŠÍK<sup>1</sup>, Vladimír BULEJ<sup>2</sup>, Miroslav CÍŠAR<sup>3</sup>, Michal BARTOŠ<sup>4</sup>

Opiekun naukowy: Ivan KURIC<sup>5</sup>

## SYSTEM MONITORINGU DLA PSZCZÓŁ

**Streszczenie:** Artykuł dotyczy stanowiska monitorowania pasieki z zastosowaniem technologii IoT (Internetu Rzeczy). Celem artykułu jest przedstawienie kompletnego projektu instalacji do monitorowania pasieki.

**Słowa kluczowe:** monitoring, ul, Arduino, Raspberry Pi, IoT

## CREATION OF A MONITORING SYSTEM FOR BEES

**Summary:** The article focuses on beekeeping monitoring stations implementing IoT technology. The goal of this article was to create a complete design of the beehive environment monitoring system that implements IoT technologies

**Keywords:** Monitoring, Beehive, Arduino, Raspberry Pi, IoT

### 1. Introduction

Nowadays all of us know, that bees are very important for the human life on Earth. For this reason, it is necessary to use the newest technology and help bees to live here. However, we will not present any revolutionary technical innovation in this article (like a Harvard engineers in 2013, which created the RoboBee), but we will focus on development of a bee monitoring system, which can be used by some beekeepers in their bee farms. Every automatic monitoring system for bee hives brings several significant benefits in the same time. It can significantly facilitate bee life in beehives

---

<sup>1</sup> Ing., University in Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems, e-mail: martin.bohusik@fstroj.uniza.sk

<sup>2</sup> Assoc.-prof., Ing., PhD., University in Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems, e-mail: vladimir.bulej@fstroj.uniza.sk

<sup>3</sup> Ing., PhD., University in Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems, e-mail: miroslav.cisar@fstroj.uniza.sk

<sup>4</sup> Ing., University of Zilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems: michal.bartos@fstroj.uniza.sk

<sup>5</sup> prof. Dr. Ing., University of Bielsko-Biala, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, Department of Industrial Engineering: kuric.ivan@gmail.com

– the beekeepers don't need to active checking bees by opening a roof on the beehives when they use the monitoring system. As a result, bees will be calmer and beekeepers have more free time. Beekeepers can anytime check current measured interior/exterior values of beehives in their mobile phones, laptops or some different „smart” devices (devices which can be a connect to the internet - Internet of Things [1]). Nowadays some companies have created beehive monitoring systems, but most of them are expensive for a regular beekeeper. All of those monitoring systems are different – each of them is able to provide only some functions for beekeepers (it can alert a person to an unauthorized visit to the bee farm, etc.).

## 2. Comparison of available monitoring systems

In the table below (tab. 1) the most commonly used monitoring systems in Slovakia are displayed. We can see our own monitoring system in the last column which is named “Our Project”. Our monitoring system is cheaper than other monitoring systems and contains all of the most used functions such as other monitoring systems. This is the reason, why a lot of beekeepers make their own monitoring system (like Our Project).

Table 1. Comparison of the most used monitoring systems in Slovakia

System / parameter	Chytré včely	OSBeeHives	Bee Hive Monitoring	<u>Our Project</u>
Exterior temperature	✓ YES	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Interior temperature	✓ YES	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Atmospheric pressure	✓ YES	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Exterior humidity	✓ YES	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Interior humidity	✗ NO	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Weight of hives	✓ YES	✗ NO	✓ YES	✓ YES
Solar system	✓ YES	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Alert notifications to SMS	✗ NO	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Identify a queen bee	✗ NO	✓ YES	✓ YES	✓ YES
Price	250€	240€	577€	<b>150€</b>

## 3. Sensors and devices of our monitoring system

To make a functional monitoring system for the five beehives is needed: 1x Raspberry Pi 3 type B+ (fig. 1 left); 1x Arduino Uno (fig. 1 right); 5x sensor DHT22 (as many units as we need to according to number of beehives, to monitor temperature and humidity), 5x set of scales for weight measuring (Load cell) with transducer HX711 – this set consists of four weight sensors with transducer included. Every piece of



these weight sensors must be under each corner of the beehive. Also, it is necessary to buy some bundle of connecting wires, which will be used for connection of some Arduino boards (or RPi) with other el. devices/sensors, which contain correct pins. We recommend to buy connecting wires with connectors „female-male” and „male-male”. Total price for this monitoring system, which will monitor temperature, humidity and weight of five beehives is less than 90€. All the aforesaid devices, except Raspberry Pi, is possible to buy cheaper from Chinese online stores – Aliexpress, Alibaba, Ebay.

Arduino Uno was used for RPi, due to available many analog and digital I/O pins (RPi have only 40 digital pins), which we can use for certain sensors [2]. Control system for this monitoring system will be Raspberry Pi 3 and Arduino Uno.

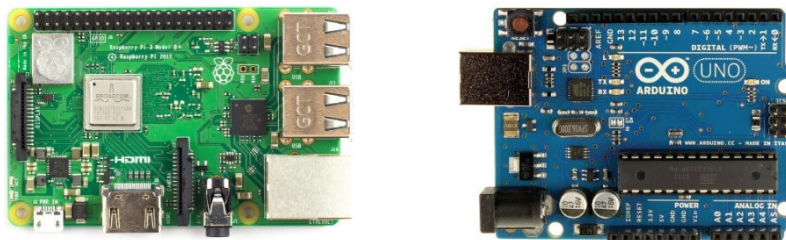


Figure 1. Raspberry Pi and Arduino UNO

Temperature and humidity sensors used are DHT22 type. This sensor is different than his predecessor (DHT11) for its parameters – temperature range is  $-40 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$  (with tolerance  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and humidity range is  $0 - 100\%$  (with tolerance  $\pm 2 - 5\%$ ). There was designed a set of 4 weight sensors for each beehive (one under each behive conrner), while each measuring unit can be loaded with maximum weight 50 kg. When there are used four units under one beehive, monitoring system is able to measure the total weight up to 200kg.

As you can see, every sensor of designed monitoring system is not very expensive. For this reason, you can install a lot of sensors for your project/monitoring system. In practice this means, that we can buy, for example, GPS modul (its price on internet shop is 4€) and add it to our monitoring system as well. Monitoring system will display current location of beehives, generated from coordinates of a GPS module. Today there is a wide range of sensors for monitoring system available on the market (fig. 2) [3,4], e.g. PIR sensor for detection of human motion (if PIR sensor is active, monitoring system can send message to our device in real time via internet connection / or GSM modul).

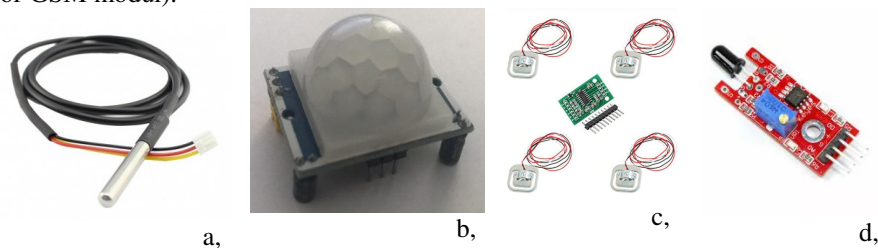


Figure 2. Available sensors: DHT22; PIR sensor; Load Cell and HX711; IR sensor

Another very useful sensor for monitoring system is IR sensor. This sensor is cheap and really important for monitoring beehives because it can detect fire at the beehive farm and monitoring system sends notification/message to the beekeeper, so he can call firefighter units. This sensor with its low price (0,50€) can save many bee families.

#### 4. Five basic steps of the monitoring system development process

This chapter briefly summarizes information on how to create your own beehive monitoring system.

- The first step is to create conceptual design / block schema of your monitoring system – as many types of the monitoring system are available, which differ according to measured values.
- The second step is to buy suitable sensors/devices and then connect them correctly according to a wiring diagram. Correctly connected devices are important for seamless operation of the monitoring system.
- In the next step, the user must turn on the microcomputer Raspberry Pi and install the operational system (*Raspbian*). After successful installation of the operation system, open a terminal and perform installation of the programs “*Arduino IDE*” and “*Node-RED*”. If programs in RPi don’t have an actual version, it is possible to upgrade it in the terminal.
- In the fourth step, we make sensor testing. Raspberry Pi must obtain correct values from all connected sensors. If we are sure about correctly connected sensors with board devices, then we can test it. The simplest way will be to connect RPi with Arduino UNO via USB cable, run application Arduino IDE, insert program including sensor library (programs and libraries are published on the support internet pages or from a tutorials) and click the button “compile project” (verification). If compilation was successfully ended, select from options of correct boards (on the top bar), connection port and processor. We can upload program for connected sensors to the device now. Right now, it is time to look for values from sensors in the serial monitor, where we can see actual values from sensors.
- The final step is “creating window of monitoring system”. We must have some knowledge here about the software “Node-RED” - what is broker, topic, subscriber/publisher etc. Anyway, turn on the Node-RED from terminal, where it shows IP address which can be opened in any internet browser (Google Chrome, Opera etc.). We must add to the Node-RED module “dashboard” for correct creating of a graphs and tables. Create “flow” according to the connected data pins. Once the flow has been correctly created we can see actual graphs and tables on the IP address of the Node-RED. If user want to get some notifications about high or low values on his device, one has to set min. and max. values, for example min. 30% and max. 75%. When will be the actual value lower or higher than set value, user will get notification from the monitoring system to his device through e-mail (fig. 3).



Figure 3. Received email from monitoring system [5]

## 5. Graphic displayed monitoring system

The main goal of the monitoring system design is to process information from the exterior/interior sensors and subsequently display them in graphs and tables on the web server, which is created by RPi. In figure 4 card “Včelnica Štiavnik” is showed where are displayed all actual values from five beehives. For each beehive is created column, where are located values (actual temperature, humidity and weight), which belongs to the specific beehive. In the first row are values of the interior temperature. Here can be three colors - green color (temperature is good), orange color (temperature is higher than it should be) and red color (temperature is high). In the second row are interior humidity and the third row showing weight from the load cell.



Figure 4. Graphic displayed monitoring system

If monitoring system sends notification through e-mail account to the user devices, this is how email should look like:

1. first row – sender email address
2. second row – specific beehive
3. third row – predefined text with variable values (variable values are actual values of the monitoring system)

E-mail can be sent through SMTP. Temperature is also displayed in the table graph for easy check of max./min. values during a certain period. The function is working also for sending notifications of the humidity monitoring. In the last column is a date and recommended values, which should be achieved in beehives.

## 6. Conclusion

In this paper we had a close look about creating your own monitoring system. This monitoring system can be configured by user according to his requirements. Monitoring system can save many bee families so it's quite important to present this system for beekeepers. Every beekeeper can create his own monitoring system according to the instructions. For its low price, everyone can use this device.

## ACKNOWLEDGEMENT

This article was made under the support of project APVV-17-0310. Project title: Implementation of the 4th Industrial Revolution Principles in the Production of Tyre Components.

## REFERENCES

1. BURGESS, M.: What is the Internet of Things?: <https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot>, 2018
2. BADAMI V.: A tour of the Arduino UNO board. Available on: <https://www.hackerearth.com/blog/developers/a-tour-of-the-arduino-uno-board/>, 2016.
3. DIACONESCU M.: Connecting to the Real World via Sensors. Available on: <https://web-engineering.info/node/61>, 2016
4. NEDELKOVSKI D.: How I2C Communication Works and How To Use It with Arduino. Available on: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-i2c-communication-works-and-how-to-use-it-with-arduino/>, 2019
5. BOHUŠÍK M.: Monitoring of the bee hive with using IoT technology (in Slovak). Diploma Thesis. University of Zilina, 2019, p. 71

Aleksy CIURKO<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA<sup>2</sup>

## **ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA ELEKTRYCZNEGO ROWERU GÓRSKIEGO Z SILNIKIEM MOCOWANYM DO RAMY**

**Streszczenie:** Przedstawiono model obliczeniowy roweru górskiego ze wspomaganie elektrycznym. Analizy numeryczne przeprowadzono w programie ANSYS Workbench dla sześciu wariantów obciążenia stanowiących odwzorowanie sił przekazywanych na konstrukcję podczas przejazdu po trasie terenowej. Sprawdzono, jak zabudowa silnika oraz akumulatora w ramie roweru wpływa na wytrzymałość oraz sztywność wybranych elementów jego struktury nośnej.

**Słowa kluczowe:** analiza wytrzymałościowa, metoda elementów skończonych, obciążenia dynamiczne, rower górski ze wspomaganie elektrycznym

## **STRENGTH ANALYSIS OF AN ELECTRIC MOUNTAIN BIKE WITH A MOTOR ATTACHED TO THE FRAME**

**Summary:** The computational model of a mountain bike with electric power assistance is presented. Numerical analyses were performed using the ANSYS Workbench software. Six load variants representing forces transferred to the structure while driving on the off-road route were considered. It was checked how the motor and battery placement in the bicycle frame affect the strength and rigidity of selected elements of its supporting structure.

**Keywords:** strength analysis, finite element method, dynamic loads, mountain bike with electric power assistance

### **1. Wprowadzenie**

Od kilku lat można zaobserwować wzrost liczby rowerów, których napęd posiada wspomaganie elektryczne [1]. Wspomaganie elektryczne początkowo stosowane było w tzw. rowerach miejskich. Realizowano go poprzez umieszczenie silnika

---

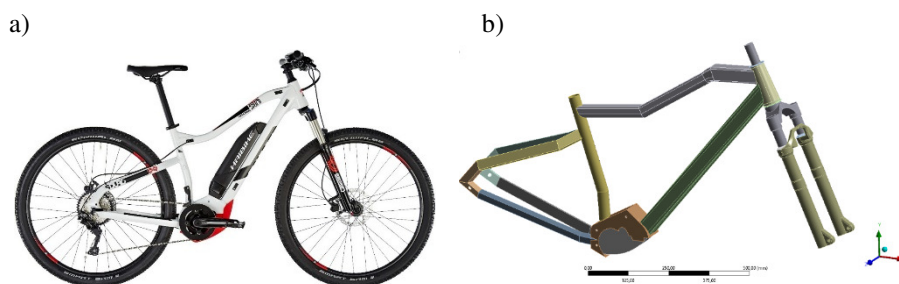
<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Komputerowe Wspomaganie Konstruowania i Wytwarzania, ciurkoa@gmail.com

<sup>2</sup> dr. inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, atrabka@ath.bielsko.pl

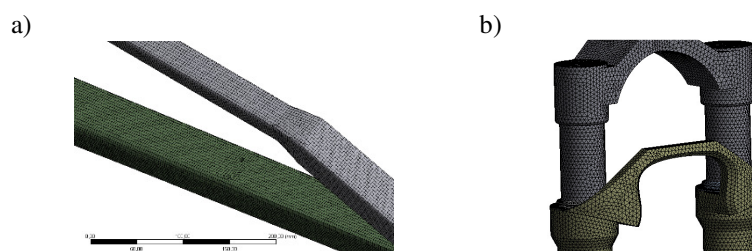
elektrycznego w piaście przedniego lub tylnego koła. Z uwagi na dużą popularność tzw. rowerów górskich, także w nich zaczęto instalować wspomaganie elektryczne [2]. Jednak, z uwagi na specyfikę warunków użytkowania tychże rowerów, okazało się, że konstrukcje z silnikami zabudowywanymi w piastach kół, ze względu na niekorzystny rozkład masy, nie sprawdzają się tak dobrze w warunkach terenowych jak podczas jazdy miejskiej. Z tego względu opracowano konstrukcję z silnikiem umieszczonym centralnie, tzn. w miejscu korby. Tego typu wspomaganie oznaczało konieczność zmodyfikowania konstrukcji struktury nośnej jaką jest rama roweru. W niniejszej pracy podjęto się zadania polegającego na sprawdzeniu, jak zabudowa silnika elektrycznego oraz ogniw zasilających w ramie roweru górskiego wpływa na wytrzymałość oraz sztywność wybranych elementów jego struktury nośnej.

## 2. Model obliczeniowy

Model obliczeniowy (rys. 1b) wykonano w programie metody elementów skończonych ANSYS na podstawie modelu geometrycznego narysowanego w programie CATIA V5. Za podstawę do opracowania modeli przyjęto konstrukcję roweru górskiego firmy HAIBIKE (model SDURO HARDNINE 2.0) z centralnie umieszczonym silnikiem elektrycznym i amortyzowanym widelcem przednim (rys. 1a).



Rysunek 1. Rower górski ze wspomaganiami elektrycznymi: a) obiekt rzeczywisty – rower SDURO HARDNINE 2.0 [3], b) model obliczeniowy



Rysunek 2. Podział na elementy skończone dla: a) fragmentu ramy, b) fragmentu widelca przedniego

Przystępując do opracowania modelu obliczeniowego zdecydowano, że rama oraz korpus silnika będą rozpatrywane jako struktury modelowane przy użyciu elementów

powłokowych (rys. 2a), natomiast widelec przedni i połączenie widełca tylnego z piastą koła zostaną opisane elementami bryłowymi (rys. 2b). Pozostałe elementy roweru, istotne z punktu widzenia przekazywanych na konstrukcję obciążeń (kierownica, siodło oraz korba z pedałami), wprowadzono do modelu obliczeniowego jako nieodkształcalne elementy belkowe (tabela 1). Aby uzyskać regularny podział geometrii na elementy skończone, zrezygnowano z zaokrągleń o małym promieniu, a także pominięto otwory na przewody.

### 3. Warunki brzegowe i dobór obciążeń

Podparcie modelu obliczeniowego zrealizowano przez wprowadzenie więzów:

- w miejscu osadzenia piasty tylnego koła - pozostawiono tylko możliwość obrotu wokół osi Z głównego układu współrzędnych;
- w miejscu osadzenia piasty przedniego koła - pozostawiono tylko możliwość przesuwu wzdłuż osi X oraz możliwość obrotu wokół osi Z głównego układu współrzędnych.

Obciążenia konstrukcji roweru górskiego oraz kierunki i zwroty odpowiadających tym obciążeniom wektorów sił, przyjęto na podstawie informacji zawartych w pracach [4–9].

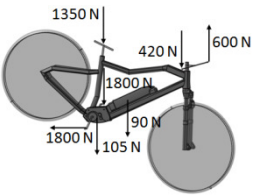
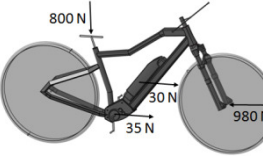
W grupie obciążeń statycznych uwzględniono: obciążenie od ciężaru rowerzysty o wartości 800 N, obciążenie od ciężaru silnika o wartości 35 N oraz obciążenie od ciężaru baterii o wartości 30 N [10].

W grupie obciążeń dynamicznych uwzględniono obciążenia stanowiące odzwierciedlenie sił przekazywanych na konstrukcję podczas normalnej jazdy, tzn. pedałowania w pozycji siedzącej oraz pięciu spośród najczęściej zachodzących zdarzeń o krótkotrwałym bądź nagłym charakterze, jakie mogą wystąpić w trakcie jazdy rowerem górskim. Miejsca przyłożenia sił do modelu obliczeniowego oraz kierunki działania wektorów, dla których przeprowadzono analizy dynamiczne, zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Warianty obciążeń dynamicznych roweru górskiego (cz. 1)

Wariant/opis	Schemat	Wariant/opis	Schemat
1 pedałowanie w pozycji siedzącej		2 pedałowanie w pozycji stojącej	
3 gwałtowne hamowanie na przednie koło		4 zeskok na oba koła	

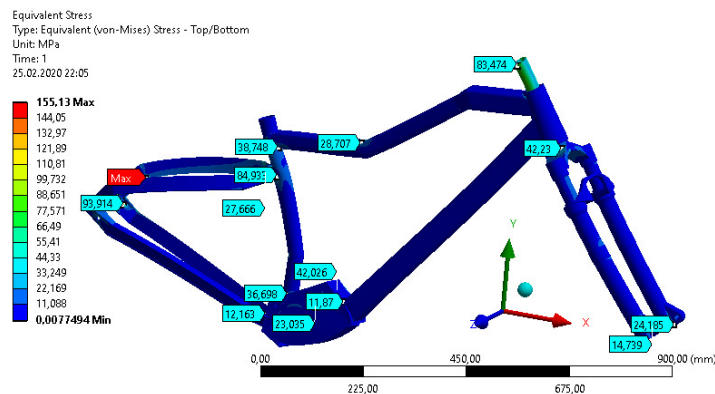
Tabela 1. Warianty obciążeń dynamicznych roweru górskiego (cz. 2)

Wariant/opis	Schemat	Wariant/opis	Schemat
<b>5a/5b</b> zeskok na przednie koło (obrot ramy o 30°/45°)		<b>6</b> uderzenie przednim kołem w przeszkodę	

Dla wariantu 4 efekt uderzenia przy zeskoku odwzorowano poprzez dwukrotne zwiększenie wartości każdej z sił w stosunku do wariantu 1 [5, 7]. Dla wariantu 5 efekt uderzenia przy zeskoku odwzorowano poprzez trzykrotne zwiększenie wartości każdej z sił w stosunku do wariantu 1, a ponadto zmieniono sposób podparcia modelu. Zastosowano podparcie przegubowe nieprzesuwne piasty koła przedniego oraz podparcie przegubowe przesuwne piasty koła tylnego.

#### 4. Analiza wytrzymałości i sztywności wybranych elementów konstrukcyjnych roweru górskiego

Analizy numeryczne przeprowadzono w programie ANSYS Workbench 19.1. W pierwszej kolejności dla każdego wariantu obciążeń wykonano obliczenia naprężeń zredukowanych, a następnie porównano ich maksymalne wartości. Na rysunkach 3-6 przedstawiono wybrane wyniki analiz. Na rys. 3 pokazano rozkład naprężeń zredukowanych w ramie oraz widelcu przednim odpowiadający obciążeniom przekazywanym na konstrukcję podczas normalnej jazdy, tzn. pedałowania w pozycji siedzącej (wariant 1).

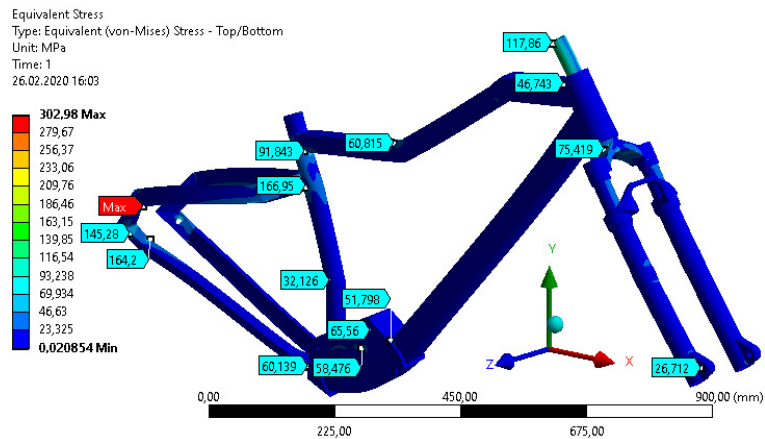


Rysunek 3. Rozkład naprężeń zredukowanych dla wariantu 1 (pedałowanie w pozycji siedzącej)

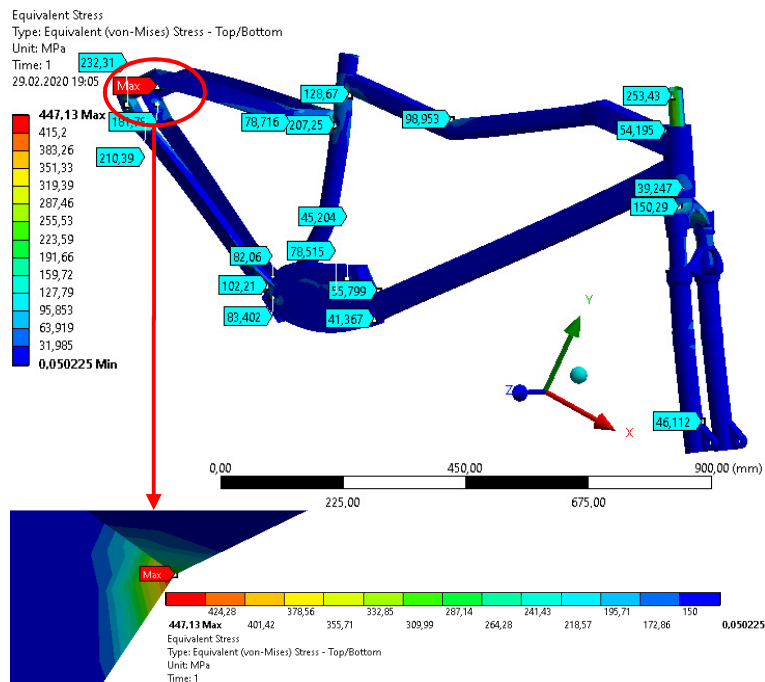
Na kolejnych rysunkach zaprezentowano rozkłady naprężeń zredukowanych odpowiadające obciążeniom oddziałującym na konstrukcję roweru w przypadku



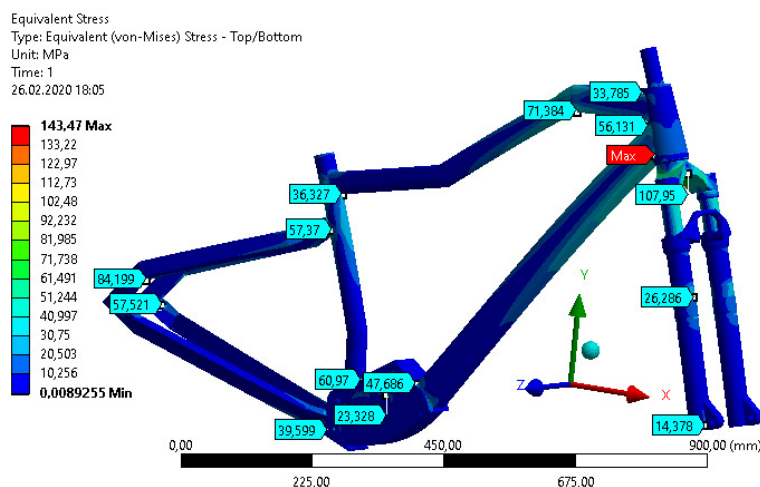
najczęściej występujących podczas jazdy w terenie zdarzeń o nagłym charakterze, takich jak zeskok na oba koła (rys. 4), zeskok na przednie koło (rys. 5) i uderzenie przednim kołem w przeszkodę (rys. 6). Porównania maksymalnych naprężeń zredukowanych dla wszystkich wariantów obciążeń dokonano na rys. 7.



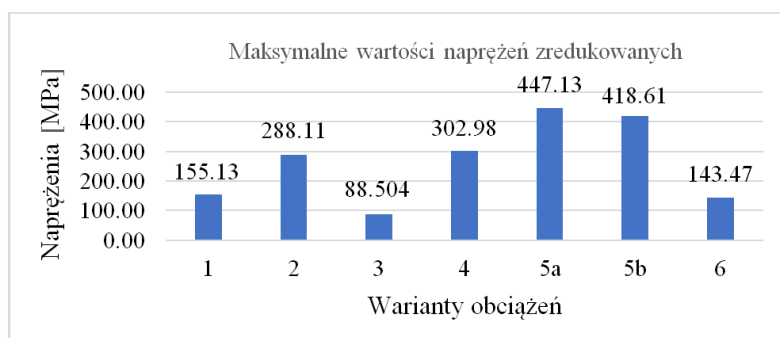
Rysunek 4. Rozkład naprężeń zredukowanych dla wariantu 4 (zeskok na oba koła)



Rysunek 5. Rozkład naprężeń zredukowanych dla wariantu 5a (zeskok na przednie koło – rama obrócona o kąt 30°)



Rysunek 6. Rozkład naprężeń zredukowanych dla wariantu 6 (uderzenie przednim kołem w przeszkodę)



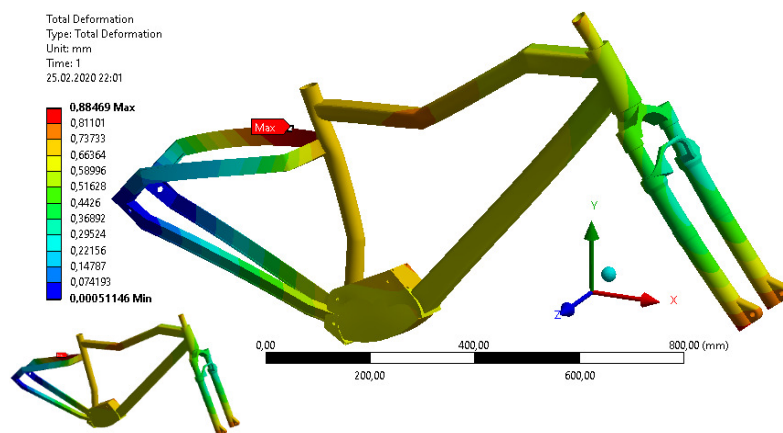
Rysunek 7. Porównanie maksymalnych naprężeń zredukowanych

Z porównania maksymalnych naprężeń zredukowanych (rys. 7) wynika, że największe naprężenia występują przy zeskoku na przednie koło (wariant 5), nieco mniejsze naprężenia, ale także wyraźnie przekraczające granicę plastyczności występują przy zeskoku na oba koła (wariant 4), natomiast naprężenia, których maksymalna wartość jest zdecydowanie mniejsza od granicy plastyczności występują tylko w przypadku uderzenia przednim kołem w przeszkodę (wariant 6).

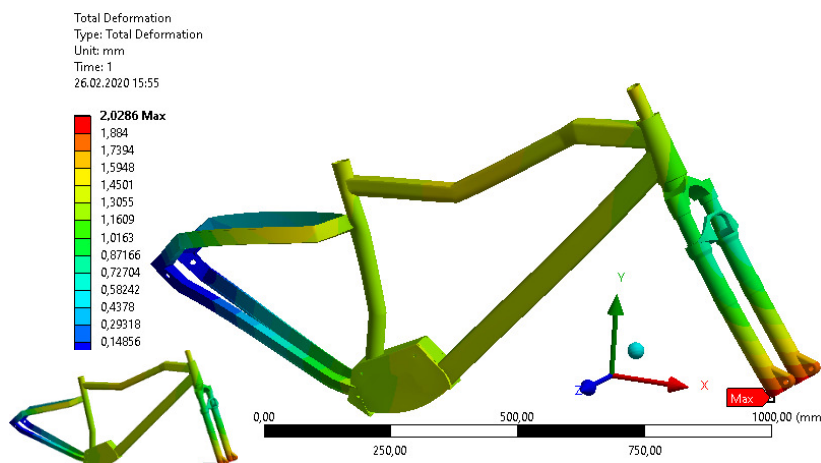
Maksymalne naprężenia zredukowane dla wariantów 4 i 5 występują w tej samej lokalizacji jak dla wariantów 1 i 2. Obserwowane spiętrzenie naprężeń w wymienionych przypadkach dotyczy miejsca, w którym występuje ostra krawędź, a także następuje nagła zmiana przekroju poprzecznego tylnych widełek, a zarazem przejście z elementów skończonych typu powłokowego na elementy bryłowe (rys. 5). W związku z powyższym, przyczynę zawyżenia naprężeń poza lokalnym karbem mogą stanowić także błędy wynikające z nieprawidłowej budowy i wielkości elementów skończonych we wskazanej lokalizacji.

Aby ustalić na ile sztywna jest konstrukcja roweru [11], dla każdego wariantu obciążeń wykonano obliczenia deformacji całkowitych (tzn. wypadkowych

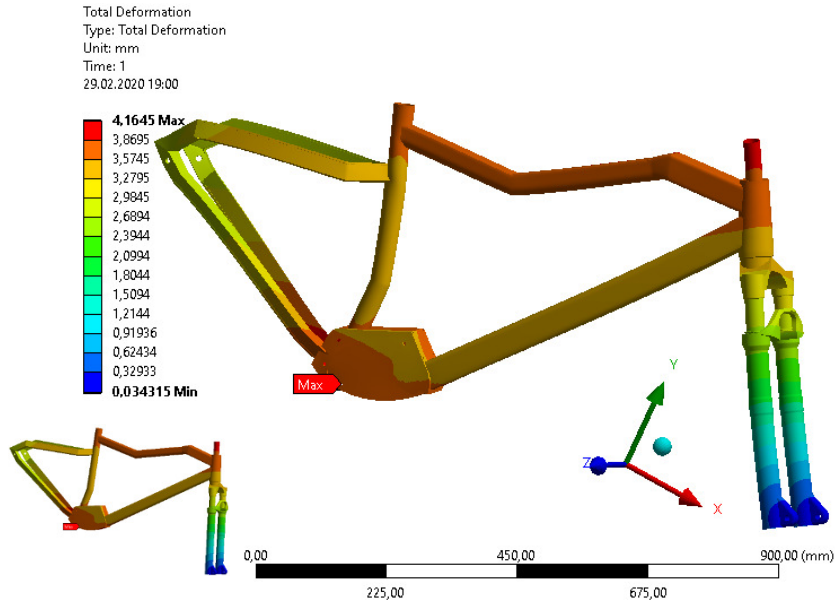
przemieszczeń węzłów), a następnie porównano ich maksymalne wartości. Na kolejnych rysunkach przedstawiono wyniki analiz dla tych samych wariantów, dla których pokazano warstwicę naprężeń zredukowanych. Zgodnie z powyższym na rys. 8 przedstawiono obraz deformacji całkowitych w ramie oraz widełcu przednim odpowiadający obciążeniom przekazywanym na konstrukcję podczas pedałowania w pozycji siedzącej (wariant 1). Na rys. 9 pokazano deformacje całkowite jakie powstają przy zeskoku na oba koła (wariant 4). Na rys. 10 pokazano deformacje całkowite jakie powstają przy zeskoku na przednie koło (wariant 5). Z kolei na rys. 11 pokazano deformacje całkowite jakie powstają przy uderzeniu przednim kołem w przeszkodę (wariant 6). Porównania maksymalnych wartości deformacji całkowitych dla wszystkich wariantów obciążeń dokonano na rys. 12.



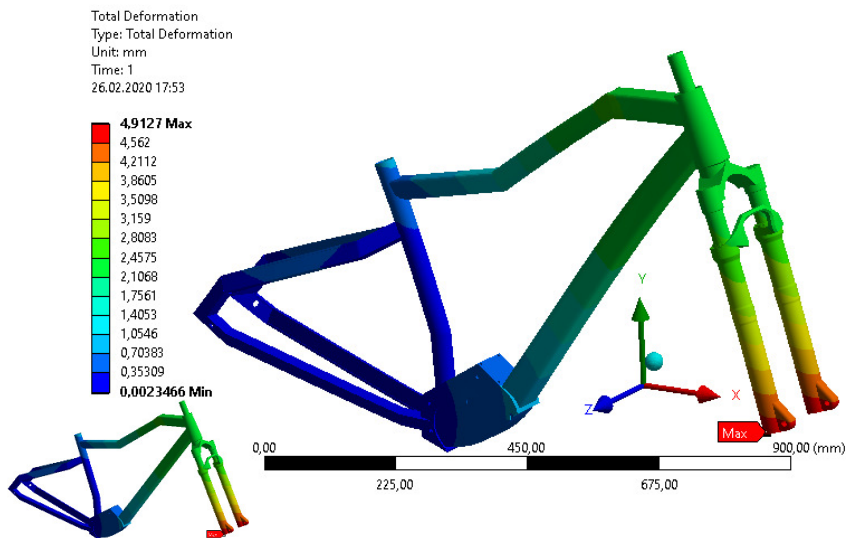
Rysunek 8. Deformacja ramy i widełek przednich dla wariantu 1 (w lewym dolnym rogu przedstawiono model przy wyłączonym skalowaniu)



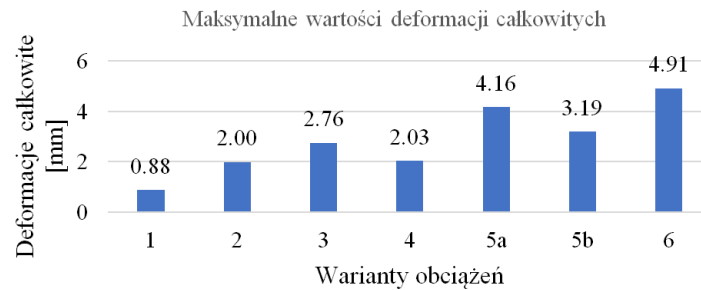
Rysunek 9. Deformacja ramy i widełek przednich dla wariantu 4 (w lewym dolnym rogu przedstawiono model przy wyłączonym skalowaniu)



Rysunek 10. Deformacja ramy i widełek przednich dla wariantu 5a (w lewym dolnym rogu przedstawiono model przy wyłączonym skalowaniu)



Rysunek 11. Deformacja ramy i widełek przednich dla wariantu 6 (w lewym dolnym rogu przedstawiono model przy wyłączonym skalowaniu)



Rysunek 12. Porównanie maksymalnych deformacji całkowitych

Z porównania wartości maksymalnych deformacji całkowitych (rys. 12) wynika, że największych odkształceń doznają widełki przednie (wariant 6), jednak biorąc pod uwagę towarzyszących tym deformacjom poziom naprężeń, można uznać, iż materiał użyty do ich wykonania został właściwie dobrany. Duża deformacja występuje także w obrębie ramy roweru przy zeskoku na przednie koło (wariant 5a). W tym przypadku, podobnie jak dla wariantu 6, naprężenia w najbardziej zdeformowanych częściach ramy są na tyle małe, że również można uznać, iż materiał użyty do wykonania ramy został właściwie dobrany.

## 5. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono model obliczeniowy roweru górskiego z centralnie umieszczonym, wspomagającym napęd, silnikiem elektrycznym i amortyzowanym widełcem przednim. Analizy numeryczne przeprowadzono w programie ANSYS Workbench 19.1 dla sześciu wariantów obciążenia modelu obliczeniowego. Analizy przeprowadzono w celu sprawdzenia, jak zabudowa silnika elektrycznego oraz ogniw zasilających w ramie roweru górskiego wpływa na wytrzymałość oraz sztywność wybranych elementów jego struktury nośnej, zarówno podczas normalnej jazdy, tzn. pedałowania w pozycji siedzącej, jak i najczęściej zachodzących zdarzeń o krótkotrwałym bądź nagłym charakterze, jakie mogą wystąpić w trakcie jazdy rowerem górskim.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że:

- W miejscach, które ze względu na zabudowę elementów związanych z napędem elektrycznym różnią się konstrukcyjnie od typowych rozwiązań, nie występują żadne lokalne koncentracje naprężeń.
- Za wyjątkiem jednego miejsca w strukturze ramy, w którym następuje nagła zmiana przekroju poprzecznego tylnych widełek oraz gwałtowne załamanie powierzchni łączonych elementów o charakterze karbu, naprężenia zredukowane w żadnym innym miejscu nie przekraczają granic plastyczności zastosowanych do budowy roweru materiałów.
- Pojawiające się zwiększone naprężenia na łączeniach poszczególnych części konstrukcji pokrywają się z miejscami występowania uszkodzeń, jakie zdarzają się przy niewłaściwym użytkowaniu rowerów górskich (rys. 13).



Rysunek 13. Przykłady pęknięć i złamań ram rowerów górskich

## LITERATURA

1. WASIK E., CZECH P., FIGLUS T., TUROŃ K., KAŁUŻA R.: Rower elektryczny jako przyszłość ekotransportu. *Autobusy - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 6 (2018), 771–779.
2. TYSZKO T.: Górski Rower Elektryczny/E-MTP (HARDTAIL). Dostępny w Internecie: [https://portal.bikeworld.pl/artykul/porady/przeglad\\_ryнку/16946/jaki\\_gorski\\_rower\\_elektryczny\\_e\\_mtb](https://portal.bikeworld.pl/artykul/porady/przeglad_ryнку/16946/jaki_gorski_rower_elektryczny_e_mtb) (dostęp: 10 czerwiec 2019).
3. <https://www.bikester.pl/haibike-sduro-hardnine-20-rower-elektryczny-hardtail-biay-czarny-861793.html> (dostęp: 23 maj 2019).
4. CHOMKA G., CHUDY J., KONDASZEWSKI M.: Badania symulacyjne wytrzymałości ramy rowerowej z kształtowników i uniwersalnych łączników. *Autobusy - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 9 (2018), 117–122.
5. NIESTEROWICZ B., JASTRZĘBSKI D.: Obliczenia wytrzymałościowe ramy roweru miejskiego. *Modelowanie Inżynierskie*, 61 (2017), 33-38.
6. CONVILL D., BEGG S., ELTON E., MILNE M., MORRIS R., KATZ T.: Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries. *Procedia Engineering*, 72 (2014), 441–446.
7. DEVAIAH B.B., PUROHIT R., RANA R.S., PARASHAR V.: Stress Analysis of a Bicycle Frame. *Materials Today: Proceedings*, 5 (2018), 18920–18926.
8. SODEN P. D., ADEYEFA B. A.: Forces Applied To a Bicycle During Normal Cycling. *J. Biomechanics*, 12 (1979), 527-541.
9. XIANG Z., TIAN G., XU W.: Load on bicycle frame during cycling with different speeds and gestures. *Transactions of Tianjin University*, 17 (2011), 270-274.
10. Serwis internetowy: <https://www.bikester.pl/przewodnik-po-rowerach-elektrycznych/silniki.html> (dostęp: 2 czerwiec 2019).
11. PETERSON L., LONDRY K.: Finite-Element Structural Analysis: A New Tool for Bicycle Frame Design. The Strain Energy Design Method. Dostępny w Internecie: <https://www.sheldonbrown.com/rinard/fea.html> (dostęp: 10 czerwiec 2019).

Szymon DAMEK<sup>1</sup>, Andrzej NOWAK<sup>2</sup>

Opiekun naukowy: Andrzej NOWAK<sup>2</sup>

## IDENTYFIKACJA CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH NA STABILNOŚĆ LOTU BSL

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych, mających na celu identyfikację czynników wpływających na zachowanie się bezzałogowego statku latającego (BSL) podczas lotu autonomicznego. Analizowano wpływ trzech czynników: stopień złożoności trasy przelotu, prędkość oraz ustawienie BSL względem jego chwilowego kierunku lotu. Oceniano zgodność trasy przelotu z zadaną trajektorią.

**Słowa kluczowe:** BSL, przelot autonomiczny, stabilność przelotu autonomicznego

## IDENTIFICATION OF FACTORS AFFECTING BSL FLIGHT STABILITY

**Summary:** The article presents the results of experimental studies, carried out under laboratory conditions, aimed at identifying the factors influencing the behaviour of an unmanned aerial vehicle (UAV) during autonomous flight. The influence of three factors were analysed: complexity of the route of flight, speed and setting of the UAV in relation to its momentary flight direction. The compatibility of the route of flight with the given trajectory was assessed.

**Keywords:** BSL, autonomous flight, autonomous flight stability

### 1. Wprowadzenie

W warunkach terenowych na zachowanie się bezzałogowego statku latającego (BSL) podczas lotu wpływa wiele czynników. Wśród nich można wyróżnić, m.in.: wysokość, na której odbywa się przelot, prędkość poruszania się BSL, zawirowania generowane przez obroty śmigieł, przepływ strug powietrza wokół urządzenia, położenie środka ciężkości, itd. Ostatni z wymienionych czynników jest szczególnie istotny, gdyż ma bezpośredni wpływ na stabilność konstrukcji BSL – jeżeli środek ciężkości będzie usadowiony możliwie blisko środka geometrycznego całego układu,

---

<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Zarządzania i Transportu / Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Planowanie i bezpieczeństwo w transporcie / Informatyka, email: sd050181@student.ath.edu.pl

<sup>2</sup> dr hab.inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Zarządzania i Transportu, email: anowak@ath.bielsko.pl

to wówczas BSL będzie bardziej stabilny, ale równocześnie pogorszeniu ulegnie mobilność układu [1]. Z kolei zawirowania generowane przez śmigła oraz prędkość przelotu BSL, w powiązaniu z jego usytuowaniem w stosunku do chwilowego kierunku lotu, mają związek z kierunkiem i intensywnością strug powietrza opływającego urządzenie. Z tych powodów autor, przystępując do badań, postawił sobie za cel zbadanie trzech hipotez, tj. uzyskanie odpowiedzi na trzy pytania. Po pierwsze, jaki wpływ ma średnia prędkość na dokładność przelotów BSL? Po drugie, czy złożoność zaprojektowanej trasy wpływa na dokładność przelotu? I po trzecie, czy przelot BSL frontem do chwilowego kierunku lotu na trasie (tzn. urządzenie będzie wykonywało obroty wokół własnej osi przy każdorazowej zmianie kierunku lotu) będzie rzutowało na dokładność przelotu (dokładność przelotu jest tu rozumiana jako zgodność zmierzonej trajektorii przelotu z założoną, zaprogramowaną trajektorią przelotu).

Wszystkie wykonywane przeloty zostały wykonane autonomicznie, przy użyciu bezpłatnego oprogramowania DronBlocs [5], które wykorzystywało programowanie blokowe. Istotnym aspektem dla monitorowania lotu jest to, by kontroler BSL znał swoją pozycję, a w przypadku lotów autonomicznych tę wiedzę posiadał nie tylko pilot, ale też sam BSL. Aktualnie najpopularniejszą metodą do ustalania położenia oraz nawigacji jest system GPS (ang. *global positioning system*) [2], ale również wykorzystywane są systemy takie, jak: TACAN, nawigacji inercyjnej [3, 4], śledzenia radia, nawigowania według punktów.

## 2. Badania eksperymentalne

Eksperymenty badawcze zrealizowano w dużym pomieszczeniu zamkniętym (jedno z większych audytoriów). Pozwoliło to na wyeliminowanie części czynników mających wpływ na stabilność lotu BSL (np. wpływ warunków atmosferycznych, stanu powietrza atmosferycznego, itp.). Pojedynczy eksperyment polegał na zarejestrowaniu zachowania się BSL podczas wykonywania w pełni autonomicznego lotu. Rejestrowano chwilowe: położenie i prędkość BSL. Eksperyment powtarzano wielokrotnie dla przyjętego wariantu trasy i badanej zależności (hipotezy).

Zanim jednak przystąpiono do właściwych badań, wykonano szereg przelotów testowych, na podstawie których przyjęto, że lot autonomiczny można uznać w badanym punkcie trasy za zgodny z zadaną trajektorią, jeżeli odchylenie w tym punkcie jest nie większe niż 40 cm.

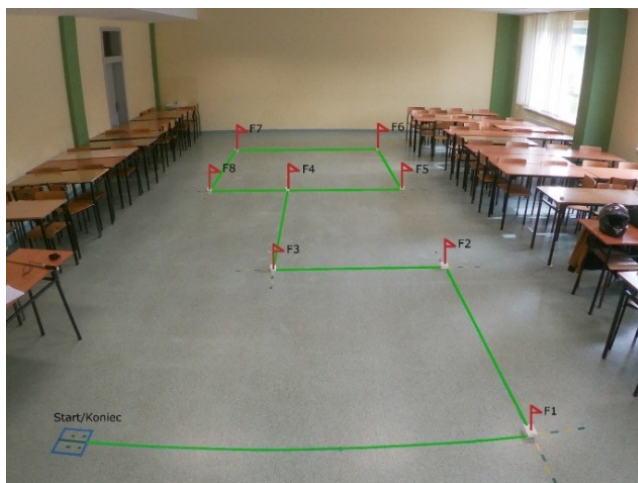
### 2.1. Stanowisko badawcze

Jak już wspomniano, stanowisko badawcze przygotowano w jednej z większych sal wykładowych w budynku L znajdujących się w kampusie Akademii Humanistyczno-Technicznej w Bielsku Białej. Na wyposażeniu poligonu badawczego znalazły się:

- chorągiewki (do oznaczania punktów pomiarowych),
- taśmy (wyznaczenie toru lotu BSL),
- BSL DJI Tello,
- kamera,
- smartfon (do uruchomienia aplikacji programowania lotu).



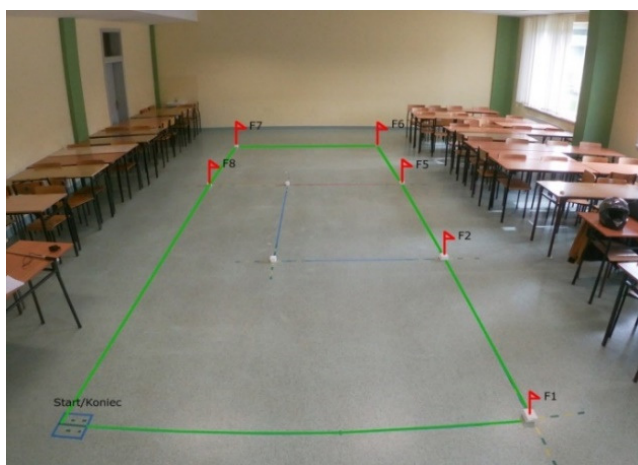
Przygotowano dwa warianty torów badawczych: „Kręty” (rys. 1) oraz „Prostokąt” (Rys. 2). Przebieg wykonywanego lotu po torze „Kręty” był następujący: Start-F1-F2-F3-F4-F5-F6-F7-F8-F4-F3-F2-F1-Start.



Rysunek 1. Trasa badawcza w wariacie: "Kręty"

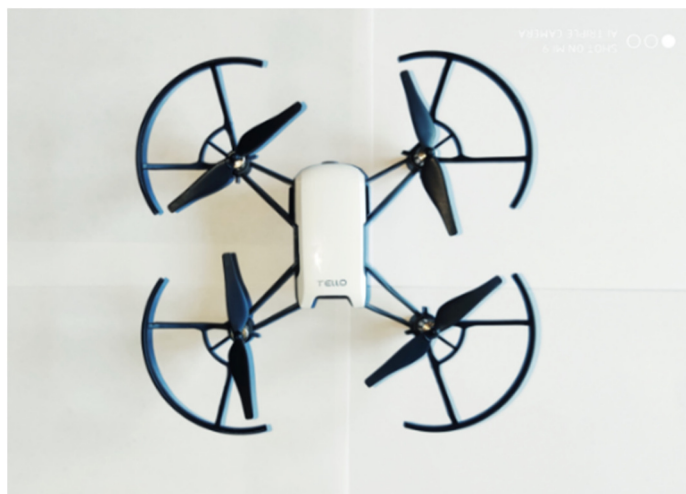
Na tym torze wykonywano 4 warianty autonomicznych lotów, różniące się wartościami średniej prędkości przelotu BSL (dwie prędkości średnie: 60 cm/s oraz 100 cm/s) oraz położeniami chwilowymi BSL względem chwilowego kierunku lotu (dwa położenia: przelot BSL frontem do wyznaczonej trasy z obrotami oraz przelot BSL w ustalonej pozycji bez obrotów na wykonywanej trasie).

Natomiast przebieg wykonywanego lotu po torze „Prostokąt” był następujący: Start-F1-F2-F5-F6-F7-F8-Start ( Rys. 2.). Również w tym przypadku analizowano 4 warianty przelotu, takie same jak opisane w przypadku toru „Kręty”.



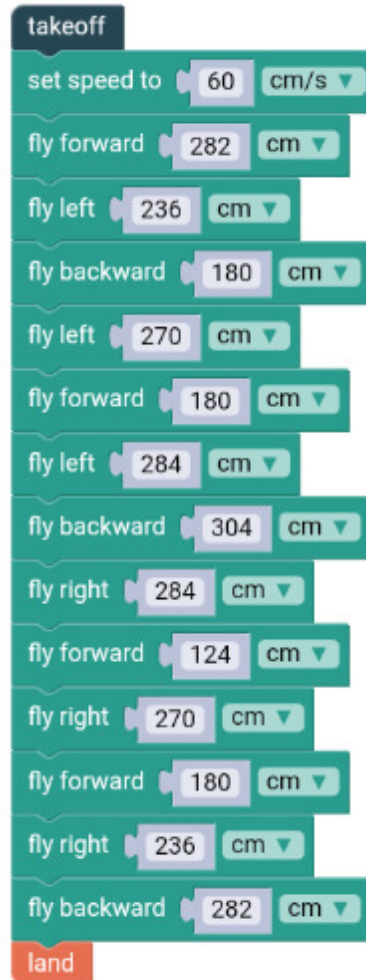
Rysunek 2. Trasa badawcza druga "Prostokąt"

W eksperymencie użyto BSL DJI Tello Boost Combo (rys. 3). Jest to urządzenie małych rozmiarów, co pozwala na badania przelotów autonomicznych w pomieszczeniach zamkniętych o nawet bardzo małych powierzchniach użytkowych. Jak już wspomniano, uzyskano przez to pewną idealizację warunków przelotu, a mianowicie wyeliminowano podmuchy wiatru, które mogłyby powodować zafałszowanie wyników prowadzonych badań. Masa BSL wynosiła 80 g – umożliwiło to realizację badań bez posiadania wymaganych dokumentów do pilotowania BSL. Urządzenie pokonywało wcześniej zaprogramowaną trasę. Programowanie lotu autonomicznego odbyło się przy użyciu smartfona, na aplikacji DronBlocks. Aplikacja pozwala na zaprogramowanie lotu przy pomocy programowania blokowego. Jest dedykowana dla BSL marki DJI, ale też umożliwia samodzielne formułowanie poleceń dla urządzeń badawczych oraz rekreacyjnych z wykorzystaniem istniejących w programie bibliotek.



*Rysunek 3. BSL DJI Tello*

Po opracowaniu trasy przelotowej dla BSL, wykonano kod dla przelotu autonomicznego dla każdej z założonych konfiguracji przelotu. Przykładowy kod trasy przelotowej ze średnią prędkością 60 cm/s, bez wykonywania obrotów BSL zgodnie z chwilowym kierunkiem lotu, przedstawiono na rys. 4.

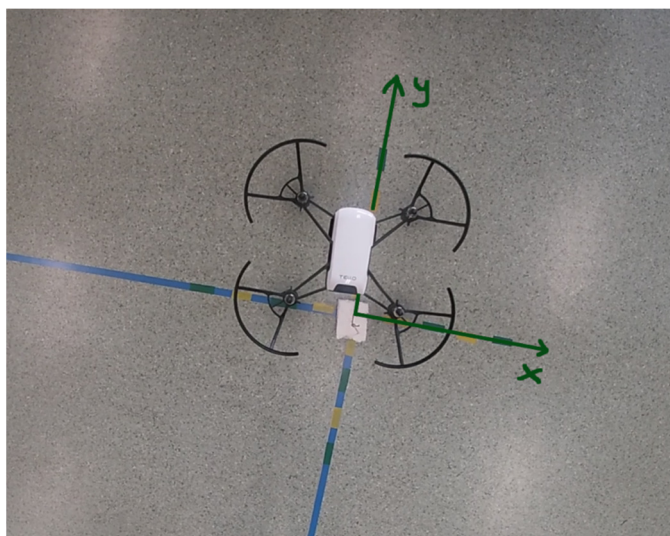


Rysunek 4. Program trasy przelotu „Kręta” bez wykonywania obrotów (prędkość średnia lotu: 60 cm/s)

## 2.2. Opracowanie i analiza wyników badań

Przeloty BSL na trasie były rejestrowane przez kamerę prowadzoną nad lecącym BSL. Po zrealizowaniu wszystkich zaplanowanych przelotów dane, aby je można było wykorzystać do dalszych analiz, poddano obróbce i weryfikacji.

W pierwszej kolejności wydzielono stopklatki z nagranych przelotów. To pozwoliło na zmierzenie w punktach pomiarowych wartości odchylenia trasy przelotu BSL od założonej trajektorii (rys 5).



Rysunek 5. Zdjęcie z nad BSL w punkcie pomiarowym

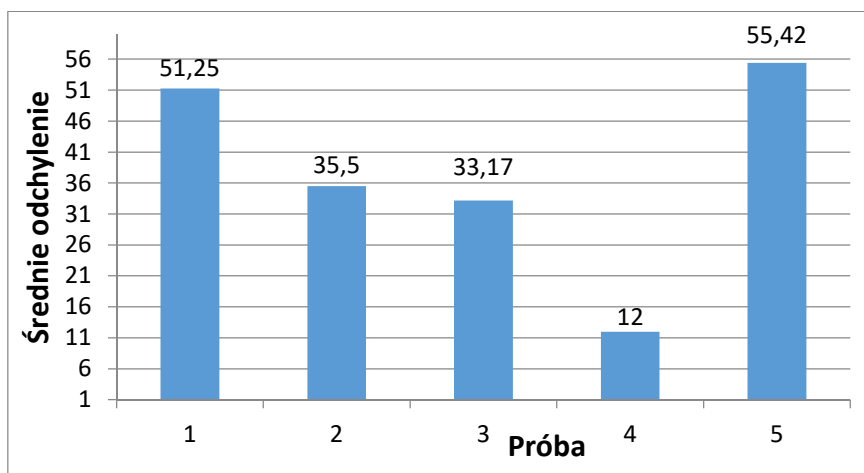
Na rys. 5 przedstawiono przykładowe ujęcie, pokazujące w jaki sposób zostały wykonane odczyty. Wokoło punktu pomiarowego zostały odmierzone odległości co dziesięć centymetrów oznaczone kolejno: żółty-zielony-żółty-zielony, dzięki czemu otrzymano cztery odcinki czterdziestocentymetrowe z każdej strony punktu pomiarowego. Na podstawie tak przygotowanych miarek dziesięciocentymetrowych, odczytywano odchylenia trajektorii lotu BSL, a następnie zapisywano pomiary do arkusza kalkulacyjnego Excel. Widoczne na rys. 5 linie zostały zinterpretowane jako oś  $x$  i oś  $y$  układu odniesienia, wykorzystanego w celu obliczania chwilowego położenia BSL w przestrzeni. Wykorzystano tu twierdzenie Pitagorasa (1):

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (1)$$

gdzie:

- $a$  – współrzędna  $y$  chwilowego położenia BSL,
- $b$  – współrzędna  $x$  chwilowego położenia BSL,
- $c$  – szukane położenie BSL (chwilowa odległość BSL od punktu pomiarowego).

Następnie dla każdego pomiaru otrzymanego podczas próby badawczej analizowanego wariantu przelotu, uzyskane wyniki pomiarów odchyień ( $x$ ,  $y$ ) podstawiano do wzoru (1). Obliczenia te pozwoliły na wyznaczenie średniego odchylenia dla próby na całej długości trasy przelotu (rys. 6).



Rysunek 6. Średnie odchylenie od zadanej trajektorii dla przykładowej trasy

Z wykresu można odczytać, że próba 4. charakteryzuje się najmniejszymi odchyleniami zarejestrowanej trajektorii od zadanej trasy. W dopuszczalnym przedziale wartości odchyłeń mieszczą się również próby 2. i 3. Natomiast odchylenia przy próbie 1. i 5. zdecydowanie wykraczają poza przyjęte kryterium 40 cm. Należy przypomnieć, że każdy z przelotów BSL wykonywał w warunkach prawie idealnych (w sensie: bezwietrznych) oraz startował z tego samego położenia początkowego.

Podsumowując, biorąc pod uwagę wszystkie analizowane przypadki przelotów, średnie odchylenie mieści się w dopuszczalnym przedziale – średnia z pięciu prób wyniosła 37 cm, zatem jest mniejsza niż 40 cm.

Po skompletowaniu wszystkich danych oraz wykonaniu wstępnych obliczeń, zbadano trzy warianty zależności:

- wariant 1: wyznaczenie zależności pomiędzy prędkością a dokładnością przelotu,
- wariant 2: wyznaczenie zależności pomiędzy poziomem skomplikowania trasy a dokładnością przelotu,
- wariant 3: wyznaczenie zależności pomiędzy kierunkiem lotu (frontem do trasy) a dokładnością przelotu.

Obliczenia wykonano z wykorzystaniem metod statystycznych, a mianowicie za pomocą analizy dwuwymiarowej zmiennej losowej [6]. Metoda ta pozwoliła na wyznaczenie współczynnika korelacji liniowej  $P$ , określonego wzorem:

$$P = \frac{ConvXY}{\sqrt{VarX \cdot VarY}} \quad (2)$$

gdzie:  $ConvXY$  – kowariancja dwuwymiarowej zmiennej losowej  $(X, Y)$ ,

$VarX$  – wariancja zmiennej  $X$ ,

$VarY$  – wariancja zmiennej  $Y$ .

Następnie obliczono kowariancja dwuwymiarowej zmiennej losowej  $(X, Y)$ :

$$ConvXY = EXY - (EX \cdot EY) \quad (3)$$

gdzie:  $EXY$  – wartość oczekiwana dwuwymiarowej zmiennej losowej  $(X,Y)$ ,

$EX$  – wartość oczekiwana zmiennej  $X$ ,

$EY$  – wartość oczekiwana zmiennej  $Y$ .

Kolejno obliczono wartość oczekiwaną dwuwymiarowej zmiennej losowej  $(X,Y)$ :

$$EXY = \sum_i \sum_j (x_i (y_j p_{i,j})), \quad (4)$$

gdzie:  $x_i$  – przedział odległości (klasa),

$y_j$  – wariant,

$p_{i,j} = P(X = x_i, Y = y_j)$ .

Następnie wyznaczono wartości oczekiwane zmiennych  $X$  oraz  $Y$ :

$$EX = \sum_i x_i p_j, \quad (5a)$$

$$EY = \sum_j y_j p_j, \quad (5b)$$

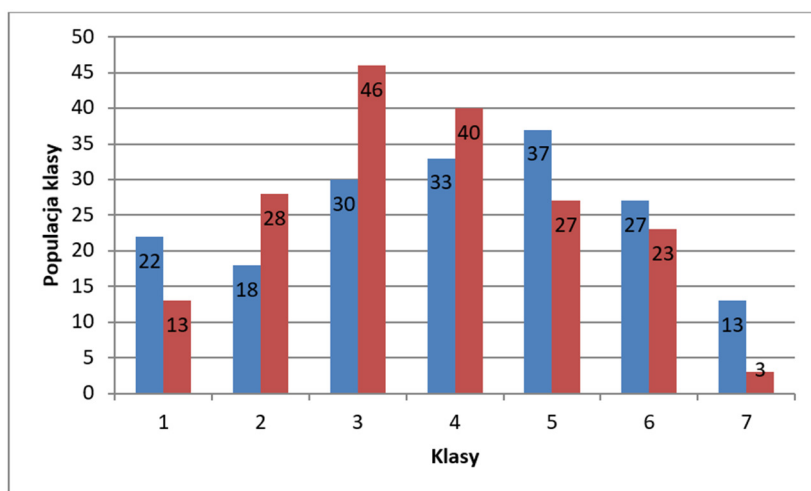
gdzie:  $p_i, p_j$  – wartości brzegowe zmiennych, odpowiednio  $X$  i  $Y$ .

Wariancję zmiennej  $X$  oraz wariancję zmiennej  $Y$  wyznaczono ze wzorów:

$$VarX = EX^2 - (EX)^2, \quad (6a)$$

$$VarY = EY^2 - (EY)^2. \quad (6b)$$

W każdym z trzech badanych przypadków opracowano populację klas. Na rys. 7 pokazano populację klas dla pierwszej hipotezy, według której zakładano, że dokładność lotu po zadanej trajektorii zależy od prędkości przelotu.



Rysunek 7. Populacja klas dla hipotezy pierwszej („dokładność realizacji zadanej trajektorii zależy od prędkości przelotu”) – kolor niebieski:  $v=60\text{cm/s}$ , kolor czerwony:  $v=100\text{cm/s}$

Analiza danych (rys. 7) wskazuje na fakt, że przeloty posiadały zbliżone odchylenia w poszczególnych klasach. Najczęściej przeloty były realizowane w klasach 3÷5, co

oznacza loty z odchyleniem od założonej trajektorii o wartościach z przedziału 20÷49 cm. Wartość korelacji liniowej dla badanej hipotezy wyniosła  $P = 0,01$ . Oznacza to, że na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono słabą zależność dokładności realizacji zadanej trajektorii od średniej prędkości przelotu BSL.

W podobny sposób analizowano pozostałe dwie hipotezy. W przypadku badania zależności pomiędzy stopniem skomplikowania trasy a dokładnością przelotu stwierdzono nieco mocniejszą zależność – wartość korelacji wyniosła tu  $P = 0,08$ . W trzecim przypadku, w którym badano w jakim stopniu dokładność przelotu zależy od braku bądź występowaniu obrotów BSL przy zmianie jego chwilowego kierunku ruchu stwierdzono, że wprowadzanie obrotów BSL w trakcie lotu przekłada się na zmniejszenie wartości odchylenia trajektorii lotu od zadanej trasy.

### 3. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań, bazując na analizie porównawczej wyników pomiarów w trzech wariantach eksperymentu, wykluczono prędkość przelotu jako czynnik mający istotny wpływ na dokładność przelotu BSL po zadanej trasie. W warunkach naturalnych, gdzie na lot wpływa dużo czynników zewnętrznych takich, jak na przykład wiatr, odchylenia dla oktokoptyerów byłyby niewielkie przy dużej prędkości przelotowej.

Przeprowadzone badania wskazują natomiast, że w warunkach laboratoryjnych (a takim był poligon badawczy w sali dydaktycznej), najistotniejszą spośród badanych okazała się zależność dokładności realizacji zadanej trajektorii od stopnia skomplikowania trasy lotów autonomicznych. Badania wykazały, że dokładniejsze przeloty wykonywane były dla tras, gdzie trudność przelotu była niska, jak w przypadku trasy „Prostokąt”. W odniesieniu do realnie wykonywanych lotów, zalecane byłoby programowanie takich tras, gdzie na trasie przelotu znajdowałoby się jak najmniej przeszkód oraz BSL pokonywałby raczej na trasach odcinki długie i proste. Ostatnią badaną zależnością było sprawdzenie wpływu ustawienia BSL w stosunku do jego chwilowego kierunku lotu na dokładność przelotu po zadanej trajektorii. Badania wskazują, że w przypadku BSL używanego w eksperymencie, obroty przez niego wykonywane w trakcie zmian kierunku ruchu zwiększają dokładność utrzymania zadanej trajektorii.

Badania zrealizowane w warunkach laboratoryjnych powinny teraz zostać odwzorowane w środowisku naturalnym, gdzie przeprowadzono by takie same testy, ale z uwzględnieniem czynników zewnętrznych (np. kierunek i prędkość wiatru). Kolejnym elementem przyszłych badań, dzięki któremu stałyby się one bardziej wiarygodne, byłoby ich przeprowadzenie przy użyciu kilku różnych modeli BSL.

### LITERATURA

1. Strona internetowa Gannet – dlaczego wyważanie drona do łowiectwa jest ważne: <https://BSLe-fishing.com/blogs/news/why-is-balancing-the-BSLe-for-BSLe-fishing-so-important>, 8 maja 2020.
2. El-RABBANY A.: Introduction to GPS: The Global Positioning System, ArtechHouse Publishers 2006.

3. SCHWARTZ C.E., BRYANT T.G., COSGROVE J.H., MORSE G.B., NOONAN J. K.: A radar for unmanned air vehicles, The Lincoln Laboratory Journal, 3(1990)1.
4. AUSIN REG: Unmanned aircraft systems, UAVS design, development and deployment, John Wiley & Sons Ltd published 2010, British library.
5. Strona internetowa DroneBlok informacje ogólne - <https://learn.BSLblocks.io/p/membership>, 9 sierpnia 2020,
6. KRYSYCKI W., BARTOS J., DYSZKA W., KRÓLIKOWSKA K., WASILEWSKI M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach część I. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999





# МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26

тел./факс +380-3131-21109

Веб-сайт університету: [www.msu.edu.ua](http://www.msu.edu.ua)

E-mail: [info@msu.edu.ua](mailto:info@msu.edu.ua), [pr@mail.msu.edu.ua](mailto:pr@mail.msu.edu.ua)

Веб-сайт Інституційного репозитарію Наукової бібліотеки МДУ: <http://dspace.msu.edu.ua:8080>

Веб-сайт Наукової бібліотеки МДУ: <http://msu.edu.ua/library/>